

دیجیتال سازی فرایندهای حمل و نقل ریلی در عصر فناوری های مبتنی بر هوش مصنوعی، مروری با رویکرد کتاب سنجی

مدیریت

اطلاعات

دوره ۱۰، شماره ۱

بهار و تابستان ۱۴۰۳

عبدالهادی ضرابی

دانشجوی دکتری، گروه مدیریت فناوری اطلاعات، دانشکده مدیریت و حسابداری،

دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران

محمدتقی تقوی فرد*

استاد، گروه مدیریت فناوری اطلاعات و عملیات، دانشکده مدیریت و حسابداری،

دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران

ایمان ربیسی وانانی

دانشیار، گروه مدیریت فناوری اطلاعات و عملیات، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران

منوچهر نجمی

دانشیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران

چکیده: تحول دیجیتال در صنعت حمل و نقل ریلی، به ویژه از طریق بهره گیری از فناوری های هوش مصنوعی، به یکی از محورهای کلیدی نوآوری در زیرساخت های حیاتی تبدیل شده است. هدف این پژوهش، ترسیم نقشه دانشی و شناسایی روندها، فناوری ها، چالش ها و بازیگران اصلی در حوزه کاربرد هوش مصنوعی در صنعت ریلی با استفاده از روش کتاب سنجی است. داده های پژوهش از پایگاه اسکوپوس گردآوری شد و پس از پالایش، ۱،۲۰۲ مقاله منتشر شده بین سال های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۵ با بهره گیری از نرم افزار وس ویور تحلیل شدند. نتایج نشان می دهد که فناوری های نظیر یادگیری ماشین، یادگیری عمیق، الگوریتم ژنتیک و دوقلوی دیجیتال، بیشترین حضور را در متون داشته اند و تمرکز اصلی کاربردها در زمینه هایی چون تعمیرات پیش بینانه، پایش سلامت و زمان بندی هوشمند بوده است. از منظر ساختار تولید علم، کشور چین و دانشگاه Beijing Jiaotong جایگاه پیشنازی داشته اند، در حالی که کشورهایی مانند ایران علی رغم تولید علمی، از منظر همکاری های بین المللی پژوهشی ضعیف تر عمل کرده اند. همچنین تحلیل شکاف ها نشان داد که به برخی موضوعات راهبردی مانند تاب آوری سایبری، مدیریت تغییر و بهینه سازی زنجیره تأمین کمتر توجه شده است. در پایان، با تلفیق نتایج کتاب سنجی و تحلیل های خوشه ای، چارچوبی مفهومی بر اساس چهار محور غالب، یعنی فناوری محور، کاربردمحور، نتیجه محور و چالش محور ارائه شده و پنج گزاره پژوهشی برای هدایت مطالعات آینده پیشنهاد شده است.

کلیدواژه ها: هوش مصنوعی، صنعت حمل و نقل ریلی، تحلیل کتاب سنجی، یادگیری ماشین، دیجیتال سازی.

مقدمه

صنعت حمل‌ونقل ریلی به‌عنوان یکی از ارکان اصلی توسعه اقتصادی و اجتماعی، در تسهیل جابه‌جایی بار و مسافر در سراسر جهان نقش بسزایی ایفا می‌کند. این صنعت نه تنها به دلیل ظرفیت بالای حمل بار و مسافر، بلکه به لطف ایمنی بالا و سازگاری با محیط‌زیست، به‌عنوان یک گزینه پایدار در سیستم‌های حمل‌ونقل مدرن شناخته می‌شود (Giunta, 2023). انجام پژوهش‌هایی درباره تأثیر صنعت حمل‌ونقل ریلی بر توسعه پایدار در دنیای امروز امری مهم و ضروری است. تاکنون دانشمندان در حوزه‌های مختلف مانند علوم حمل‌ونقل، اقتصاد، بوم‌شناسی و جامعه‌شناسی این موضوع را از دیدگاه‌های گوناگون مطالعه کرده‌اند (Galushko et al., 2024). فرایندهای اصلی این صنعت شامل مدیریت ترافیک ریلی، نگهداری و تعمیرات زیرساخت‌ها، و بهینه‌سازی عملکرد ناوگان است. در کنار این فرایندها، سیستم‌های پشتیبانی مانند مدیریت اطلاعات مسافران، برنامه‌ریزی زمان‌بندی قطارها و نظارت بر ایمنی، اهمیت زیادی دارند. با این حال، صنعت ریلی با چالش‌هایی همچون افزایش تقاضا، نیاز به بهبود کارایی، و کاهش هزینه‌های عملیاتی مواجه است. دیجیتال‌سازی این صنعت به‌عنوان یک راه‌حل کلیدی، می‌تواند تحولات چشمگیری در این زمینه ایجاد کند.

دیجیتال‌سازی موضوعی است که امروزه هم در صنایع و هم در پژوهش‌های دانشگاهی، بسیار در کانون قرار گرفته است. همچنین فناوری‌های دیجیتال نیز به بخشی جدانشدنی از جامعه و اقتصاد ما تبدیل شده است (Lakomaa, 2018). در جهان، به دلیل شکندگی، عدم قطعیت، پیچیدگی و ابهام VUCA^۱ صنایعی چون حمل‌ونقل ریلی که گستره زیادی از تخصص‌های صنعتی را دربردارد، به دیجیتال‌سازی فعالیت‌های خود برای استفاده از مزایای فناوری‌های تحول‌آفرین و دیجیتال، به‌منظور ایجاد مزیت رقابتی با دیگر شیوه‌های حمل‌ونقل، توسعه کسب‌وکار و دستیابی به اهداف سازمان خود نیاز دارند. استقرار فناوری‌های تحول‌آفرین و دیجیتال‌سازی فرایندهای کسب‌وکار، یکی از عوامل حیاتی برای موفقیت کسب‌وکارهاست. با پیشرفت فناوری و تحولات رو به رشد در جهان دیجیتال، شرکت‌ها به استفاده از فناوری‌های نوین و دیجیتال‌سازی فرایندهای خود نیازمندند. این تحولات به دلیل سرعت بیشتر و دقت بهتر در انجام فعالیت‌ها، کاهش هزینه‌ها و افزایش بهره‌وری، به افزایش رقابت‌پذیری شرکت‌ها و کسب‌وکارها منجر خواهد شد. پژوهش‌های اخیر، ظهور بنیادین فناوری‌های تحول‌آفرین را در حمل‌ونقل و لجستیک نشان می‌دهد. بر اساس این نتایج، استقرار فناوری‌های تحول‌آفرین برای صنعت حمل‌ونقل، مزایای بی‌شماری ارمان می‌آورد (Păvăloaia & Necula, 2023).

بر اساس پژوهش‌های پیشین، در سفر دیجیتال سازمان، سه گام بسیار مهم وجود دارد که کسب‌وکارهای صنایع مختلف بایستی با توجه به وضعیت جاری خود، بیشترین توجه را به استراتژی‌های اتخاذ شده داشته باشند. گام‌های سفر دیجیتال در سه مرحله رقوم‌سازی^۲، دیجیتال‌سازی^۳ و تحول

1. Volatility, Uncertainty, Complexity and Ambiguity
2. Digitization
3. Digitalization

دیجیتال^۱ طی می‌شود (Bumann & Peter, 2019). در گام اول، یعنی رقومی‌سازی، سازمان می‌بایست اطلاعات عمومی، ثبت نشده و پراکنده را در لایه‌های مختلف بر بستر ابزارهای دیجیتال و پایگاه‌های اطلاعاتی جمع‌آوری کند. در گام دوم، یعنی دیجیتال‌سازی که موضوع اصلی این پژوهش است، سازمان می‌بایست فرایندهای خود را که بر بستر داده مدیریت می‌شوند، بهبود بخشد و با استفاده از فناوری‌های تحول‌آفرین، اثربخشی و کارایی آن را افزایش دهد. در این گام، موضوع تخریب^۲ یا تحول در دستور کار سازمان قرار ندارد و بیشترین بهره‌برداری در بهبود^۳ فرایندها بر بستر فناوری است. در گام سوم، یعنی تحول دیجیتال، کسب‌وکار با محوریت فناوری‌های تحول‌آفرین بازآفرینی شده و مدل کسب‌وکار سازمان، به‌طور کامل تغییر می‌یابد. با توجه به بلوغ صنعت حمل‌ونقل ریلی در ایران، این صنعت در مرحله دوم، یعنی بهبود فرایندها از طریق دیجیتال‌سازی فرایندهای سازمانی قرار دارد.

با توجه به اینکه در عصر دیجیتال‌سازی و صنعت ۴.۰، فرمت ارائه خدمات حمل‌ونقل و لجستیک به‌صورت زنجیره کامل، بیشترین تقاضا را خواهد داشت، شرکت‌های حمل‌ونقلی می‌بایست خدمات خود را از طریق برون‌سپاری و با استفاده از دیجیتال‌سازی فرایندها بر بستر فناوری اطلاعات ارائه کنند (Palkina, 2022). علاوه‌براین، در عصر صنعت ۴.۰ و حمل‌ونقل ریلی دیجیتال، فناوری‌های دیجیتال و خودکار زیادی ارائه شده است تا ضمن بهبود چشمگیر عملکرد، به ایجاد مزیت رقابتی در بازار منجر شود. این فناوری‌ها با قابلیت‌های سازمانی هم‌راستا می‌شود تا بتوانیم از عملیات مناسب ریلی و بهره‌گیری بهینه از ظرفیت سازمان استفاده کنیم (Djordjević, Krmac, Lin, Fröidh & Kordnejad, 2024). یکی از مهم‌ترین فناوری‌های تحول‌آفرین در سال‌های اخیر هوش مصنوعی بوده است.

هوش مصنوعی (AI) با سرعت فزاینده‌ای در حال رشد و استقرار در سراسر صنایع در سراسر جهان است. شرکت‌ها از فناوری‌های مبتنی بر هوش مصنوعی برای بهبود بهره‌وری، تقویت فرایندهای تصمیم‌گیری و هدایت نوآوری استفاده می‌کنند. غول‌های دیجیتال، مانند گوگل، مایکروسافت، آمازون و آی‌بی‌ام، به‌شدت در حال سرمایه‌گذاری روی توسعه هوش مصنوعی هستند. یکی از مهم‌ترین برنامه‌های این شرکت‌ها، توسعه تجاری الگوریتم‌های پیشرفته، چارچوب‌ها و پلتفرم‌های مبتنی بر هوش مصنوعی را برای پاسخ‌گویی به نیازهای مختلف تجاری در دنیای دیجیتال است (Bharadiya, 2023).

فناوری‌های مبتنی بر هوش مصنوعی به الگوریتم‌ها، سیستم‌ها، ابزارها و برنامه‌هایی اطلاق می‌شود که یا خودشان پایه هوش مصنوعی هستند یا از ابزارهای هوش مصنوعی برای انجام وظایفی استفاده می‌کنند که معمولاً به هوش انسانی نیاز دارند، مانند حل مسئله، تصمیم‌گیری و درک زبان طبیعی. این فناوری‌ها با استفاده از الگوریتم‌های پیشرفته، مدل‌های یادگیری ماشین^۴ و داده‌های حجیم، توانایی‌های شناختی را شبیه‌سازی و فرایندهای پیچیده را خودکار می‌کنند.

فناوری‌های مبتنی بر هوش مصنوعی، در حوزه‌های مختلف تأثیر بسزایی داشته‌اند. در حوزه کسب و کار، این فناوری‌ها تحلیل‌های آینده‌نگر، بهبود فرایندهای تصمیم‌گیری و ساده‌سازی فرایندها را ممکن ساخته‌اند (Sestino & DeMauro, 2021). فناوری‌های مبتنی بر هوش مصنوعی همچنان در حال توسعه و تکامل بوده و راه‌حل‌های نوآورانه‌ای در صنایع مختلف ارائه می‌دهند. این در حالی است که چالش‌هایی مانند نگرانی‌های اخلاقی، تعصب و نیاز به تنظیم‌گری^۱ را نیز به همراه دارند. پویایی این فناوری‌ها باعث می‌شود تا در پیش‌بینی‌های مختلف، همچنان یکی از نقاط کانونی نوآوری فناورانه و تحول اجتماعی باقی بمانند.

هوش مصنوعی به‌عنوان یک فناوری کلیدی در صنعت حمل‌ونقل ریلی، در بهبود کارایی و ایمنی و کیفیت خدمات نقش بسزایی ایفا می‌کند. با استفاده از الگوریتم‌های پیشرفته و تحلیل داده‌های بزرگ، هوش مصنوعی می‌تواند فرایندهای اصلی و پشتیبان را در این صنعت بهینه‌سازی کند. برای مثال، در زمینه برنامه‌ریزی و مدیریت ترافیک، هوش مصنوعی می‌تواند زمان‌بندی حرکت قطارها را بهبود بخشد و مصرف انرژی را کاهش دهد. همچنین، در فرایند نگهداری و تعمیرات، استفاده از هوش مصنوعی به شناسایی مشکلات قبل از وقوع خرابی کمک می‌کند و به این ترتیب، هزینه‌های نگهداری را کاهش می‌دهد و زمان‌های غیرعملی را به حداقل می‌رساند.

مطالعات مختلف به جنبه‌های متنوعی از کاربردهای هوش مصنوعی در حمل‌ونقل ریلی اشاره کرده‌اند. به‌طور مثال، برخی از تحقیقات روی استفاده از هوش مصنوعی در سیستم‌های نظارت بر سلامت زیرساخت‌ها و تجهیزات تمرکز کرده‌اند که به شناسایی و پیش‌بینی خرابی‌ها کمک می‌کند (Sarp, Kuzlu, Jovanovic, Polat & Gulur, 2024). همچنین، تحقیقات دیگری به بررسی استفاده از هوش مصنوعی، برای بهبود تجربه مسافران و افزایش راحتی آن‌ها پرداخته‌اند، مانند تحلیل رفتار مسافران و بهینه‌سازی خدمات بر اساس نیازهای آن‌ها. در نهایت، لزوم استفاده از فناوری‌های دیجیتال، به‌عنوان عاملی تسهیل‌کننده در این فرایندها، به‌وضوح در مطالعات مختلف مطرح شده است؛ زیرا این فناوری‌ها امکان جمع‌آوری و تحلیل داده‌های دقیق و به‌روز را فراهم می‌آورند و به تصمیم‌گیری‌های هوشمندانه‌تر کمک می‌کنند (De Donato et al., 2023). با توجه به این موارد، به نظر می‌رسد که ادغام هوش مصنوعی و فناوری‌های دیجیتال در صنعت حمل‌ونقل ریلی، نه تنها به بهبود کارایی و ایمنی کمک می‌کند، بلکه به توسعه پایدار و بهینه‌سازی منابع نیز منجر می‌شود.

پس از بررسی تحقیقات پیشین در زمینه دیجیتال‌سازی فرایندهای کسب و کار حمل‌ونقل ریلی با استفاده از فناوری‌های هوش مصنوعی، می‌توان نتیجه گرفت که هر یک از پژوهش‌های انجام شده، به یکی از جنبه‌های موضوع پرداخته است و خلأ وجود پژوهشی ساختارمند به‌روش مروری با رویکرد کتاب‌سنجی^۲ احساس می‌شود؛ بر این اساس پژوهش حاضر به پُر کردن این خلأ پرداخته است. انجام این پژوهش مروری، به شفاف‌سازی روندهای پژوهشی در سطح بین‌المللی و مرور یکپارچه تحقیقات انجام

1. Regulation

2. Bibliometric Analysis: روش تحلیل ساختار علمی بر پایه داده‌های انتشارات

شده در سال‌های اخیر، در کنار تحلیل جامع مؤلفان و مراکز علمی فعال در این حوزه، کمک شایانی می‌کند.

روش‌شناسی پژوهش

مطالعات بیبلیومتریک به‌عنوان ابزاری کلیدی در تحلیل ساختار و پویایی‌های دانش علمی، نقش مهمی در جهت‌دهی به تحقیقات آینده ایفا می‌کنند. این مطالعات با بهره‌گیری از روش‌های کمی، به بررسی الگوهای انتشار، همکاری‌های علمی، روندهای موضوعی و تأثیر پژوهش‌ها می‌پردازند. در عصر دیجیتال، با رشد سریع حجم اطلاعات علمی، نیاز به ابزارهایی برای تحلیل و سازمان‌دهی این اطلاعات بیش از پیش احساس می‌شود. مطالعات بیبلیومتریک با فراهم‌کردن دیدی جامع از وضعیت فعلی و روندهای گذشته در یک حوزه علمی، به پژوهشگران کمک می‌کنند تا شکاف‌های موجود را شناسایی کرده و مسیرهای جدیدی برای تحقیق بیابند.

علاوه‌براین، مطالعات بیبلیومتریک می‌توانند به شناسایی پژوهشگران، مؤسسه‌ها و کشورهای که در یک حوزه خاص پیشرو هستند، کمک کنند. این اطلاعات برای ایجاد همکاری‌های بین‌المللی و تخصیص منابع تحقیقاتی بسیار مفید است. در زمینه دیجیتال‌سازی فرایندهای حمل‌ونقل ریلی، مطالعات بیبلیومتریک می‌توانند به شناسایی فناوری‌های نوظهور، روندهای تحقیقاتی و چالش‌های موجود کمک کنند. این اطلاعات برای سیاست‌گذاران، مدیران حمل‌ونقل و پژوهشگران بسیار ارزشمند است؛ زیرا به آن‌ها امکان می‌دهد تا تصمیمات مبتنی بر داده اتخاذ کنند و استراتژی‌های مؤثری برای توسعه فناوری‌های نوین طراحی کنند.

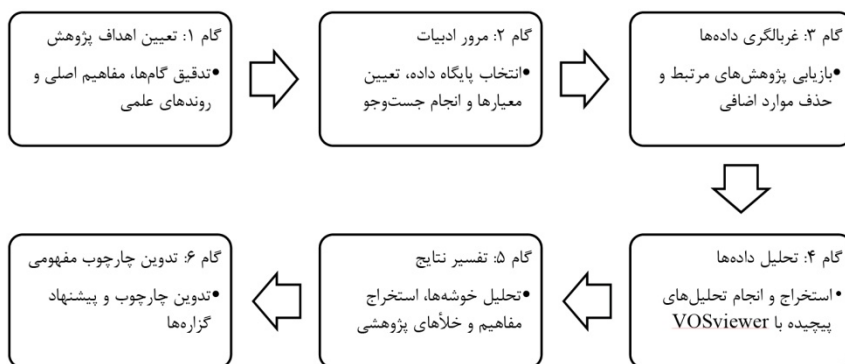
در نهایت، با توجه به تحولاتی که در حوزه‌های مختلف علمی در حال وقوع است، مطالعات بیبلیومتریک به‌عنوان ابزاری برای پایش و تحلیل این تحولات اهمیت فزاینده‌ای یافته‌اند. این مطالعات نه‌تنها به درک بهتر از وضعیت فعلی علم کمک می‌کنند، بلکه مسیرهای آینده تحقیق را نیز روشن می‌سازند (Öztürk, Kocaman & Kanbach, 2024).

گام‌های پژوهش

از آنجا که این پژوهش از نوع مطالعات مروری نظام‌مند با رویکرد کتاب‌سنجی^۱ است و هدف آن، تحلیل ساختار علمی و شناسایی روندهای پژوهشی در زمینه کاربرد فناوری‌های هوش مصنوعی در صنعت حمل‌ونقل ریلی است، فرایند پژوهش بر اساس مراحل پیشنهادی در ادبیات کتاب‌سنجی (Donthu, Kumar, Mukherjee, Pandey & Lim, 2021) طراحی شده و شامل گام‌های زیر بوده است:

۱. تعیین اهداف پژوهش: بررسی روند علمی، مفاهیم کلیدی و ساختار دانشی در حوزه دیجیتال‌سازی صنعت ریلی با استفاده از فناوری‌های هوش مصنوعی؛

۲. مرور ادبیات: انتخاب پایگاه داده اسکوپوس^۱ به عنوان یکی از معتبرترین بانک‌های اطلاعات علمی بین‌المللی و اجرای جست‌وجوهای دقیق بر اساس معیارهای تعیین شده در عنوانین، چکیده و کلیدواژه‌ها؛
۳. غربالگری داده‌ها: بازیابی و بررسی پژوهش‌ها، حذف موارد نامرتب و غیرانگلیسی و حفظ مقاله‌های پژوهشی و مروری منتشرشده بین سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۵؛
۴. استخراج و تحلیل داده‌ها: جمع‌آوری و خروجی‌های خام و استفاده از نرم‌افزار وس‌ویور^۲، برای تحلیل هم‌رخدادی^۳ واژگان، هم‌نویسندگی مؤلفان و سازمان‌ها و ترسیم شبکه‌های مفهومی؛
۵. تفسیر نتایج: تحلیل خوشه‌ها و استخراج مفاهیم، فناوری‌ها، چالش‌ها و شکاف‌های پژوهشی موجود؛
۶. تدوین چارچوب مفهومی: طراحی چارچوب مفهومی تلفیقی بر اساس یافته‌ها و پیشنهاد گزاره‌های پژوهشی برای تحقیقات آینده.



شکل ۱. گام‌های اجرای پژوهش

اهداف پژوهش

هدف اصلی این پژوهش، مرور سریع بر ادبیات موضوع و پژوهش‌های منتشر شده در زمینه کاربردهای هوش مصنوعی در دیجیتال‌سازی فرایندهای صنعت حمل‌ونقل ریلی بوده است. سؤال‌های اصلی این پژوهش که بر مرور تحقیقات پیشین به روش کتاب‌سنجی تمرکز داشت، به صورت زیر است:

۱. کدام فناوری‌های مبتنی بر هوش مصنوعی، طی ۱۵ سال گذشته، در تحقیقات مرتبط با حمل‌ونقل ریلی بیشترین تکرار را داشته است؟

۱. Scopus پایگاه داده علمی بین‌المللی معتبر متعلق به Elsevier

۲. VOSviewer نرم‌افزار تخصصی تحلیل و ترسیم شبکه‌های کتاب‌سنجی

۳. وقوع هم‌زمان دو یا چند واژه در متون علمی (Co-occurrence)

۲. چه رابطه‌ای میان دانشگاه‌ها، کشورها، مراکز تحقیقاتی و پژوهشگرانی که در زمینه کاربرد هوش مصنوعی در صنعت حمل‌ونقل ریلی فعال بوده‌اند، وجود دارد؟
۳. پژوهش‌های منتشر شده در حوزه این تحقیق، روی کدام حوزه‌های کسب‌وکاری یا فناوریانه بیشترین تمرکز را داشته‌اند؟

داده‌های این پژوهش که به‌صورت تحلیل کتاب‌سنجی انجام شد، از پایگاه داده اسکوپوس، در تاریخ ۱۹ بهمن ۱۴۰۳ برابر با ۷ فوریه ۲۰۲۵ دریافت شده است. برای جمع‌آوری داده‌ها، از استراتژی جست‌وجوی سیستماتیک استفاده شد و واژگان کلیدی مرتبط با موضوع مطالعه در زبان انگلیسی و بر اساس روش ذیل‌الذکر شناسایی شدند.

استراتژی جست‌وجوی منابع

بر اساس مطالعات اخیر در زمینه روندهای فعلی و آتی استفاده از فناوری‌های تحول‌آفرین دیجیتال در صنعت حمل‌ونقل ریلی (Li, Xue, Shao, Zhu & Liu, 2023)، استفاده از هوش مصنوعی و دولگوی دیجیتال^۱ برای هوشمندسازی صنعت حمل‌ونقل ریلی (Sarp et al., 2024; De Donato et al., 2023)، دسته‌بندی‌ها، قواعد و اجرای هوش مصنوعی در صنعت حمل‌ونقل ریلی (Bešinović et al., 2021)، استقرار سیستم‌های پیش وضعیت پیشگیرانه خطوط، اتصالات و زیرساخت حمل‌ونقل ریلی بر مبنای هوش مصنوعی (Bianchi, Freddi, Giuliani & La Placa, 2025)، روش‌های مدیریت ترافیک در صنعت حمل‌ونقل ریلی با استفاده از هوش مصنوعی (Zhang & Zhang, 2023) و با استناد به تحقیقات انجام شده توسط اتحادیه بین‌المللی راه‌آهن‌ها^۲ که در مطالعات تیم مشاوره مدیریت مک‌کینزی^۳ منتشر شده است (Chapuis, Melnikov & Sandri, 2024)، فرایندهای کسب‌وکار حمل‌ونقل ریلی که به‌وسیله هوش مصنوعی قابل دیجیتال‌سازی هستند، شناسایی شدند و بر این اساس، واژگان کلیدی ذیل در عنوان مقاله، بخش اول استراتژی جست‌وجوی این پژوهش را تشکیل داده است.

TITLE (Rail* OR "Maintenance" OR "Operation management" OR "Infrastructure" OR "Condition Monitoring" OR "Crew planning" OR "Scheduling" OR "Failure Detection" OR "Optimization" OR "Passenger" OR "Pricing" OR "Safety" OR "Tracking" OR "Infrastructure" OR "Supply Chain Management" OR "Energy management" OR "Rail" OR "Train" OR "Network" OR "Track" OR "Rolling Stock" OR "Procurement" OR "Inventory" OR "Locomotive" OR "Freight" OR "Planning" OR "Traffic" OR "Marketing" OR "Booking" OR "Ticketing" OR "Station")

در گام دوم، بر اساس پژوهش مشترک محققان دانشگاه‌های ملی استرالیا، ملبورن و یورک در خصوص استفاده از هوش مصنوعی در علوم، مهندسی، فناوری و پزشکی (Berman, Chubb & Williams, 2023)، فهرست کاملی از فناوری‌های هوش مصنوعی شناسایی‌شده تهیه شد. همان‌گونه که در ذیل گزارش شده است، بر مبنای کلیدواژه‌های «عنوان فناوری مبتنی بر هوش مصنوعی» و کلیدواژه

1. Digital Twins – DT

2. UIC (Union internationale des chemins de fer)

3. McKinsey and Company

«حمل و نقل ریلی»^۱، ترکیباتی که حداقل ۱ مقاله پژوهشی یا مروری در طول ۱۵ سال گذشته در حوزه آن‌ها منتشر و در اسکوپوس نمایه شده بود، شناسایی شد. سپس برای اثربخشی بهتر جست‌وجو و نتایج معنادار این پژوهش، بر اساس اصل پارتو، تعداد ۱۰ فناوری از فهرست ذکر شده انتخاب شد. همان‌گونه که در جدول ۱ گزارش شده است، با انتخاب این فناوری‌ها، ۸۱ درصد پژوهش‌های انجام شده، پوشش داده شده است. اصل پارتو که به‌عنوان قانون ۲۰/۸۰ نیز شناخته می‌شود، یکی از اصول کلیدی در تحلیل داده‌ها و تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره است. حذف گزینه‌های ناکارآمد پارتو از مجموعه اولیه، اعتبار نتایج رتبه‌بندی را به‌طور چشمگیری بهبود می‌بخشد (Bak, Bogomolov, Duggirala, Gerlach & Potomkin, 2021).

جدول ۱. فهرست فناوری‌ها و تعداد پژوهش‌های ۱۵ سال اخیر در صنعت ریلی

رتبه	فناوری‌های مبتنی بر هوش مصنوعی	فراوانی در اسکوپوس	درصد تجمعی
۱	Deep Learning	۲۰۹	۲۲٪
۲	Machine Learning	۱۷۶	۴۱٪
۳	Genetic Algorithms	۷۰	۴۸٪
۴	Reinforcement Learning	۶۸	۵۵٪
۵	Artificial Neural Networks	۷۱	۶۳٪
۶	Convolutional Neural Networks	۵۰	۶۸٪
۷	Digital Twins	۳۹	۷۲٪
۸	Internet of Things	۳۱	۷۶٪
۹	Fuzzy Logic	۲۸	۷۹٪
۱۰	Computer Vision	۲۳	۸۱٪
۱۱	Robotics	۲۱	۸۳٪
۱۲	Support Vector Machines	۲۰	۸۵٪
۱۳	Decision Support Systems	۱۹	۸۷٪
۱۴	Random Forests	۱۴	۸۹٪
۱۵	Image Recognition	۱۲	۹۰٪
۱۶	Statistical Models	۱۲	۹۱٪
۱۷	Virtual Reality	۱۰	۹۲٪
۱۸	Expert Systems	۹	۹۳٪
۱۹	Objective Optimisation Algorithms	۸	۹۴٪
۲۰	Augmented Reality	۶	۹۵٪
۲۱	Three-Dimensional Imaging	۵	۹۵٪
۲۲	Pattern Recognition	۵	۹۶٪
۲۳	Computer Aided Design	۵	۹۶٪

رتبه	فناوری‌های مبتنی بر هوش مصنوعی	فراوانی در اسکوپوس	درصد تجمعی
۲۴	Surrogate Modelling	۵	۹۷٪
۲۵	Natural Language Processing	۳	۹۷٪
۲۶	Big Data Analytics	۳	۹۸٪
۲۷	Autoencoders	۳	۹۸٪
۲۸	Object Recognition	۳	۹۸٪
۲۹	Visual Analytics	۳	۹۹٪
۳۰	Recurrent Neural Networks	۲	۹۹٪
۳۱	Bayesian Frameworks	۲	۹۹٪
۳۲	Dynamic Linear Models	۲	۹۹٪
۳۳	Knowledge-Based Engineering	۲	۹۹٪
۳۴	Knowledge Representation	۲	۱۰۰٪
۳۵	Self-Organising Maps	۱	۱۰۰٪
۳۶	Physics-Informed Models	۱	۱۰۰٪
۳۷	Scene Understanding	۱	۱۰۰٪
۳۸	Uncertainty Reasoning	۱	۱۰۰٪

بدین ترتیب، جست‌وجو در پایگاه داده اسکوپوس، به‌عنوان پایگاه اصلی این مقاله بر اساس وجود یکی از فناوری‌ها و عبارت‌های ذیل در عنوان مقاله‌ها صورت گرفت:

TITLE ("Artificial Intelligence" OR "AI" OR "Deep Learning" OR "Machine Learning" OR "Artificial Neural Network" OR "Genetic Algorithm" OR "Reinforcement Learning" OR "Convolutional Neural Networks" OR "Digital Twins" OR "Internet of Things" OR "IOT" OR "Fuzzy Logic" OR "Computer Vision")

در نهایت باید گفت که فیلترهای زمان انتشار و زبان مقاله، در کیفیت داده‌ها و قابلیت تحلیل بهتر تأثیر بسزایی دارند. برای محدود کردن و دقیق‌تر کردن نتایج، محدودیت زمانی برای پژوهش‌های منتشر شده در سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۲۶ در نظر گرفته شد. از سوی دیگر، به دلیل انتخاب واژگان انگلیسی در جست‌وجو، کلیه مقاله‌ها به زبان‌هایی غیر از زبان انگلیسی با اعمال فیلتر زبان، به شرح عبارت جست‌وجوی ذیل در اسکوپوس، از جست‌وجو حذف شد:

PUBYEAR > 2009 AND PUBYEAR < 2026 AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English"))

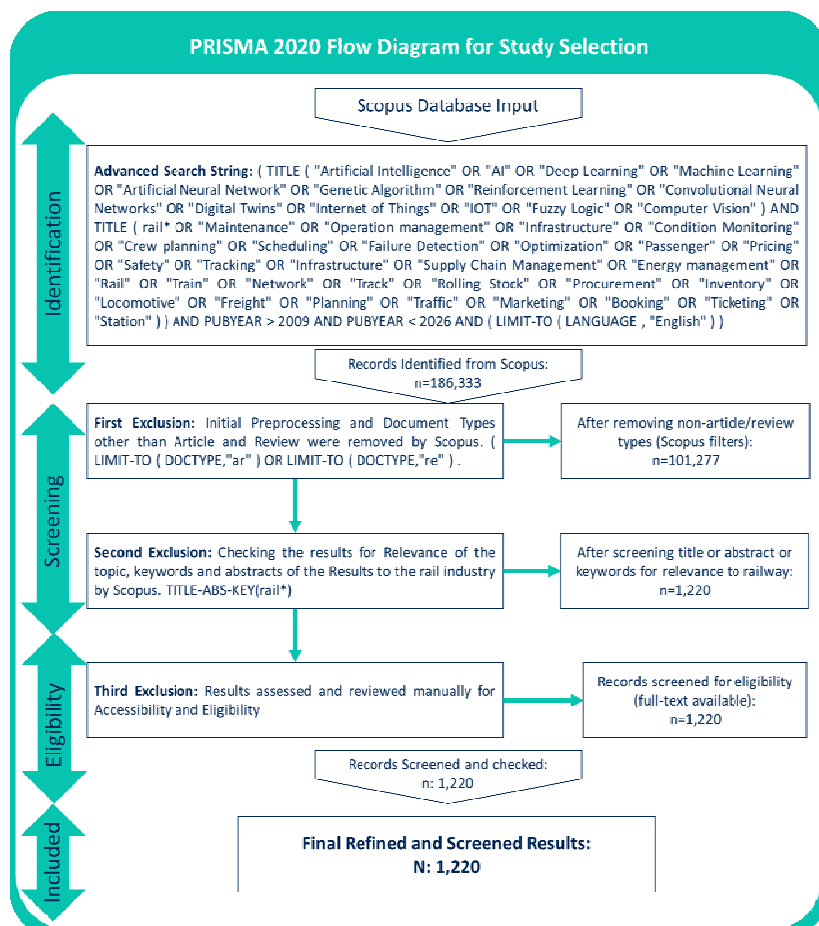
غربالگری داده‌ها

در راستای تضمین شفافیت و استانداردسازی روش‌شناسی پژوهش، فرایند انتخاب مطالعات بر مبنای چارچوب پریزما^۱ (PRISMA)^۲ طراحی شد (Page et al., 2021). در گام نخست، جست‌وجوی اولیه با

۱. چارچوب گزارش‌دهی سیستماتیک برای مطالعات مروری

2. Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses

ترکیب کلیدواژه‌های تخصصی در حوزه حمل‌ونقل ریلی و فناوری‌های هوش مصنوعی در پایگاه اسکوپوس انجام شد. ساختار کامل فرایند غربالگری در شکل ۲ نمایش داده شده است.



شکل ۲. فرایند غربالگری نتایج بر اساس مدل پریزما ۲۰۰۰

منبع: (Page et al., 2021)

شایان ذکر است که تمامی مراحل، بدون استفاده از ابزارهای خودکار و فقط با مرور ابزارهای جست‌وجو در سایت اسکوپوس و بررسی انسانی انجام گرفت. مراحل غربالگری به شرح زیر بوده است:

گام ۱. حذف موارد تکراری و غیرانگلیسی: با محدود کردن دامنه به مقاله‌های منتشرشده در بازه زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۵ و زبان انگلیسی، تعداد رکوردها به ۱۸۵,۰۶۴ عنوان کاهش یافت.

گام ۲. تعیین نوع مقاله: فقط مقاله‌های پژوهشی و مرور نظام‌مند انتخاب شد و مقاله‌های کنفرانسی، گزارش‌های فنی، فصل‌کتاب‌ها و نامه‌ها حذف شدند؛ نتیجه این فیلتر، کاهش رکوردها به ۹۵۵،۱۰۰ مقاله بود.

گام ۳. تطابق موضوعی: پس از بررسی روش‌های مختلف بررسی تطابق موضوعی، اشاره به صنعت حمل‌ونقل ریلی در حداقل یکی از موارد سه گانه اصلی (عنوان، چکیده و یا واژگان کلیدی) انتخاب شد و پس از اعمال این فیلتر در سایت اسکوپوس، مقاله‌ها به ۱,۲۲۰ عنوان کاهش یافت.

گام ۴. بررسی دسترسی کامل و انتخاب نهایی: در مرحله آخر، فقط مقاله‌هایی که دسترسی به آن‌ها ممکن بود (عمدتاً از طریق عضویت در دانشگاه‌ها و مؤسسه‌های تحقیقاتی) نگه داشته شدند. این مرحله با بررسی دستی ۲ پژوهشگر صورت گرفت که در صورت اختلاف نظر، مقاله به مرحله بعد منتقل می‌شد. در انتها تعداد ۱,۲۲۰ مقاله نهایی شد.

تحلیل داده‌ها

برای تحلیل داده‌های این پژوهش، از نرم‌افزار وس‌ویور نسخه ۱۰.۶.۲۰ استفاده شد. این نرم‌افزار، ابزاری رایگان و قدرتمند و کاربردی برای تحلیل داده‌های بیبلیومتریک است که در این پژوهش، امکان ایجاد شبکه‌های علمی پیچیده و تحلیل دقیق و کارآمد آن‌ها را فراهم کرد. برخلاف بیشتر نرم‌افزارهای کامپیوتری که برای نقشه‌برداری علم‌سنجی استفاده می‌شوند، وس‌ویور به نمایش گرافیکی نقشه‌های علم‌سنجی توجه ویژه‌ای دارد (van Eck & Waltman, 2010).

از آنجا که تحلیل داده‌های علم‌سنجی و شبکه‌های علمی اهمیت ویژه‌ای در پژوهش‌های علمی دارد. وس‌ویور این امکان را فراهم می‌آورد تا کاربران بتوانند با استفاده از نمایش‌های گرافیکی و تصویری، ارتباطات میان مقاله‌ها و نویسندگان را شناسایی و تحلیل کنند. این نرم‌افزار با نمایش شبکه‌های هم‌استنادی، همکاری‌های علمی و واژگان کلیدی، دیدگاهی جامع از وضعیت پژوهش‌های علمی ارائه می‌دهد. به‌طور کلی، نرم‌افزار وس‌ویور با ترکیب این قابلیت‌ها و ابزارهای تحلیل گراف، ابزاری مناسب و کاربردی برای تحلیل داده‌های بیبلیومتریک و پیشبرد پژوهش‌های علمی است. در این مطالعه، از نمودارهای متعددی استفاده شده که هر کدام هدف خاصی را دنبال می‌کند:

نقشه هم‌رخدادی واژگان کلیدی^۱

این نقشه با هدف شناسایی خوشه‌های مفهومی در مقاله‌های انتخاب‌شده ترسیم شد. واژگان پرتکرار که به‌طور هم‌زمان در عناوین، چکیده‌ها یا کلیدواژه‌ها ظاهر شده‌اند، به‌صورت گراف نمایش داده شده‌اند تا محورهای اصلی موضوعات پژوهش روشن شود.

نقشه هم‌نویسندگی نویسندگان و مؤسسه‌ها^۱

این نمودارها به منظور تحلیل ساختار شبکه همکاری پژوهشگران و نهادهای علمی استفاده شده‌اند. خوشه‌بندی نویسندگان و مراکز تحقیقاتی فعال، نشان‌دهنده قدرت ارتباط و تولید دانش علمی در این حوزه است.

نقشه چگالی^۲

این نمودار به کمک رنگ‌های مختلف، تمرکز پژوهش‌های علمی را روی برخی واژگان کلیدی نشان می‌دهد. رنگ‌های گرم‌تر نشان‌دهنده میزان بیشتر فراوانی یا تمرکز پژوهشی هستند و می‌توانند به‌عنوان نشانه‌ای از اولویت‌های علمی در حوزه بررسی شده تفسیر شوند.

انتخاب این نوع تحلیل‌ها به این دلیل صورت گرفته که وس‌ویور امکان تحلیل شبکه‌ای داده‌های بزرگ، بصری‌سازی تعاملی و کشف الگوهای پنهان در میان واژگان و نویسندگان را به‌شکل مؤثر فراهم می‌کند. این ویژگی‌ها موجب شده‌اند تا در دهه اخیر، وس‌ویور به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین ابزارهای تحلیل کتاب‌سنجی در حوزه‌های علوم اجتماعی، مدیریت و فناوری اطلاعات شناخته شود (van Eck & Waltman, 2010).

اعتبارسنجی نتایج

در پژوهش‌های مروری به‌شیوه کتاب‌سنجی، اعتبار نتایج به واسطه طراحی دقیق روش پژوهش و رعایت اصول استاندارد در گردآوری، پالایش و تحلیل داده‌ها تضمین می‌شود. در این مطالعه، اعتبار داده‌ها از طریق انتخاب پایگاه داده معتبر و بین‌المللی اسکوپوس، اعمال فیلترهای دقیق (نظیر زبان انگلیسی، نوع مقاله پژوهشی یا مروری و بازه زمانی مشخص) و همچنین استفاده از واژگان کلیدی ساختاریافته و ترکیب منطقی آن‌ها در جست‌وجو تأمین شده است. افزون‌براین، فرایند غربالگری چندمرحله‌ای مقاله‌ها با هدف حذف موارد نامرتب و اطمینان از هم‌خوانی موضوعی، به‌شکل سیستماتیک انجام شده است.

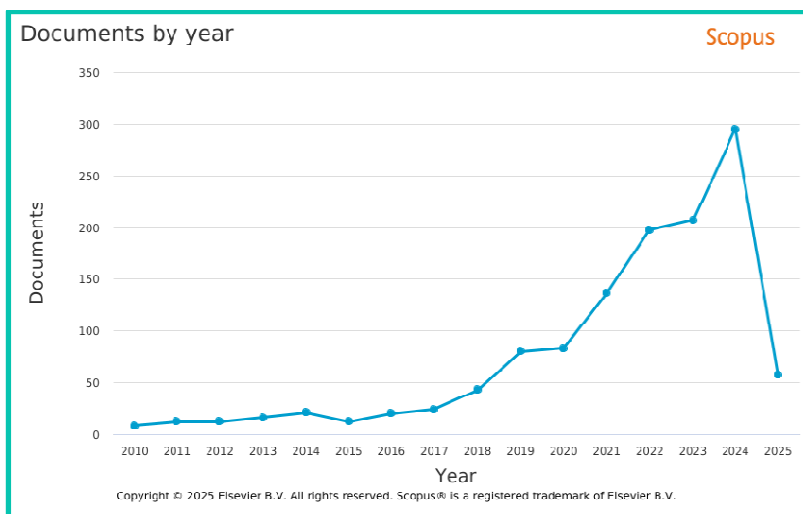
در مرحله تحلیل، از ابزار معتبر و شناخته‌شده وس‌ویور بهره گرفته شد که در بسیاری از پژوهش‌های علم‌سنجی برای رسم و تحلیل نقشه‌های هم‌رخدای، هم‌نویسندگی و هم‌استنادی استفاده می‌شود. این نرم‌افزار به صورت گسترده در ادبیات علم‌سنجی توصیه شده و اعتبار نتایج آن به‌دلیل الگوریتم‌های خوشه‌بندی و سنجش قدرت ارتباطی واژگان و نویسندگان، مورد تأیید پژوهشگران قرار گرفته است (van Eck & Waltman, 2010).

شایان ذکر است که در پژوهش‌های کتاب‌سنجی، اعتبارسنجی نتایج، معمولاً با رعایت اصول شفافیت روش‌شناختی، قابلیت بازتولیدپذیری داده‌ها و استفاده از ابزارهای تحلیلی استاندارد انجام می‌شود که در مطالعه حاضر تمامی این اصول رعایت شده‌اند. در نهایت، تحلیل و تفسیر نتایج نیز با رجوع به منابع

معتبر و مقایسه با یافته‌های مطالعات پیشین تقویت شده و زمینه را برای استنتاج‌های علمی فراهم ساخته است.

یافته‌های پژوهش

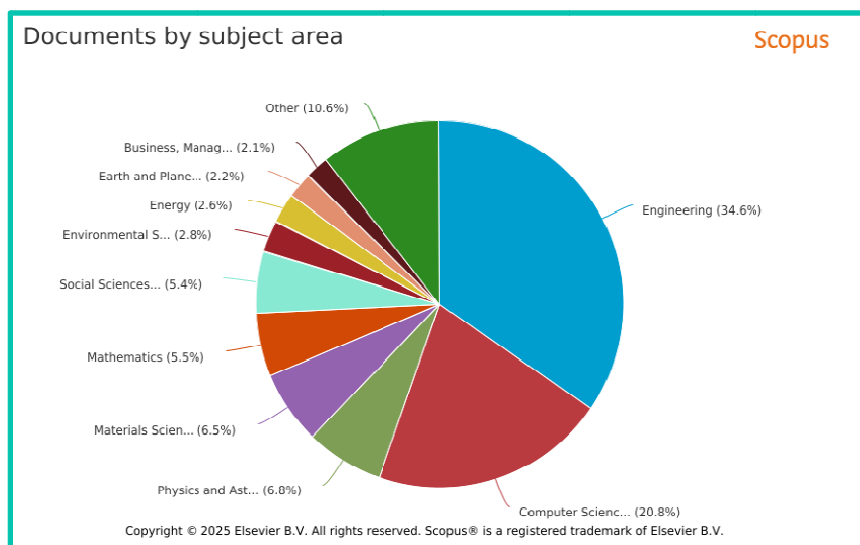
پس از جمع‌آوری داده‌ها، در مراحل مختلف، داده‌های پژوهش‌ها بررسی و در زمینه‌های مختلف تحلیل‌ها انجام شد. در این بخش از مقاله، داده‌ها با توجه به اهداف و پاسخ به سؤال‌ها پژوهش بررسی و گزارش شده‌اند. همچنین در این بخش، برخی از تحلیل‌های انجام شده توسط پایگاه اسکوپوس نیز گزارش شده‌اند. بر اساس تحلیل اولیه انجام شده توسط پایگاه داده اسکوپوس، می‌توان متوجه میزان رشد توجه به موضوع هوش مصنوعی در صنعت حمل‌ونقل ریلی شد. در شکل ۳، میزان فراوانی مقاله‌های منتشر شده با موضوعات جست‌وجو شده، طی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۵ مشاهده می‌شود. گفتنی است که با وجود دریافت اطلاعات از سایت در دومین ماه از سال ۲۰۲۵، میزان مقاله‌های نمایه شده در این پایگاه، در دو ماه نخست سال ۲۰۲۵، از کل مقاله‌های سال ۲۰۱۸ بیشتر بوده است. این روند نشانه توجه به این حوزه و روند رو به رشد پژوهش‌ها در این حوزه است.



شکل ۳. روند تعداد پژوهش‌های انجام شده از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۵

همچنین در تحلیل‌های سایت اسکوپوس روی فراوانی مقاله‌های منتشر شده در حوزه فناوری‌های هوش مصنوعی در صنعت حمل‌ونقل ریلی در سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۵ اطلاعات چشمگیری مشاهده می‌شود. همان‌طور که در شکل ۴ نشان داده شده است، بیشترین تعداد مقاله‌ها در حوزه‌های مهندسی است و پس از آن، به حوزه‌های علوم کامپیوتر اختصاص یافته است. میزان فراوانی این دو حوزه به حدی

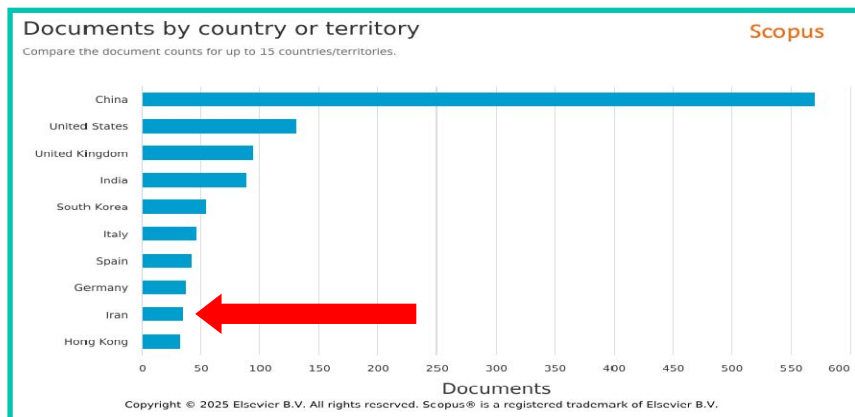
است که طی سال‌های فوق‌الذکر، بیش از نیمی از کل پژوهش‌ها را این دو حوزه در اختیار خود قرار است. در رتبه‌های بعدی حوزه‌های تخصصی فیزیک و علوم مواد مشاهده می‌شود که میزان آن‌ها قابل مقایسه با دو حوزه قبل نیست.



شکل ۴. حوزه‌های پژوهش‌های انجام شده از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۵

نکته شایان توجه، میزان توجه بسیار اندک مجله‌های حوزه‌های مدیریت و کسب‌وکار به حوزه هوش مصنوعی در صنعت ریلی است که نشان‌دهنده فرصت‌های آتی بسیاری در این حوزه‌هاست. میزان مقاله‌های منتشر شده در این سال‌ها در مجله‌های مرتبط با حوزه مدیریت، کمترین تعداد بوده و قدری بیش از ۲ درصد است.

حوزه درخور توجه دیگر در تحلیل‌های اسکوپوس، فراوانی مقاله‌های منتشر شده بر اساس کشورهای آن‌ها بوده است. همان‌طور که در شکل ۵ دیده می‌شود، بیشترین میزان تولیدات علمی طی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۵، به کشور چین اختصاص دارد. طی این سال‌ها، بیش از ۵۵۰ مقاله علمی و پژوهش منتشر شده در زمینه هوش مصنوعی و فناوری‌های توسط محققان و دانشگاه‌های این کشور منتشر شده که حدود ۵ برابر مقاله‌های منتشر شده توسط محققان کشور دوم بوده است. رتبه دوم که به ایالات متحده آمریکا اختصاص دارد با فاصله زیاد از رتبه نخست است و با رتبه سوم، یعنی کشور انگلستان، فاصله کمی دارد.



شکل ۵. پژوهش‌های انجام شده در سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۵ در زمینه هوش مصنوعی در صنعت ریلی به تفکیک کشور

نکته مهم در این نمودار، نقش محققان ایرانی در مقاله‌های حوزه‌های مرتبط با هوش مصنوعی و حمل‌ونقل ریلی است. این میزان در میان دیگر کشورها به حدی بوده است که پژوهش‌های محققان ایرانی به جمع ۱۰ کشور با بیشترین تعداد مقاله راه یافته و رتبه ۹ این فهرست به محققان پژوهشگاه‌ها و دانشگاه‌های ایرانی اختصاص یافته است. در ادامه و در تحلیل‌های نرم‌افزاری نیز، این موضوع از بُعدی دیگر نشان داده شده است.

مرور یافته‌های توصیفی مربوط به روند زمانی، حوزه‌های پژوهشی و توزیع جغرافیایی مقاله‌ها، حاکی از برخی الگوهای برجسته است که در ادامه به صورت فهرست‌وار ارائه می‌شود. این نکات در کنار داده‌های ارائه شده، زمینه را برای تحلیل‌های عمیق‌تر در بخش‌های بعدی فراهم می‌کنند:

- افزایش چشمگیر مقاله‌ها از سال ۲۰۱۸ به بعد، نشان‌دهنده آغاز فاز جدی توجه جهانی به دیجیتال‌سازی حمل‌ونقل ریلی با تکیه بر فناوری‌های نوظهور است. این رشد هم‌زمان با تحول در سیاست‌های فناورانه چین، اتحادیه اروپا و ایالات متحده اتفاق افتاده و نقطه عطفی در رشد شتابان ادبیات حوزه محسوب می‌شود.
- تمرکز عمده پژوهش‌ها بر حوزه‌های فنی (مهندسی و علوم کامپیوتر) و در مقابل، حضور بسیار محدود حوزه‌های مدیریتی و سیاست‌گذاری (با سهم کمتر از ۳ درصد) بیانگر آن است که بخش عمده‌ای از مطالعات بیشتر بر جنبه‌های فناورانه تمرکز دارند تا بر ابعاد نهادی، سازمانی یا سیاستی دیجیتال‌سازی.
- غلبه شدید کشور چین بر تولیدات علمی (با فاصله زیاد نسبت به سایر کشورها) می‌تواند به شکل‌گیری یک ساختار نامتوازن در گفتمان علمی منجر شود؛ به‌ویژه در شرایطی که کشورهای در حال توسعه، به‌رغم تولید علمی نسبی، در همکاری‌های بین‌المللی سهم محدودی دارند.

• جایگاه ایران در بین ده کشور برتر از نظر تعداد مقاله‌ها درخور توجه است؛ اما در عین حال، قدرت ارتباطات علمی بین‌المللی پژوهشگران ایرانی پایین بوده و تنها همکاری‌های معدودی با کشورهای دارای قدرت ارتباطی بالا (مانند چین و آمریکا) ثبت شده است. این مشاهدات توصیفی، در مجموع، حاکی از آن است که توسعه پژوهش‌های آینده در این حوزه می‌تواند با تمرکز بر حوزه‌های مغفول مدیریتی، گسترش همکاری‌های علمی، و حرکت به سمت پژوهش‌های ترکیبی و میان‌رشته‌ای جهت‌مند شود. در ادامه، تحلیل‌های شبکه‌ای و مفهومی، ابعاد ساختاری‌تر این وضعیت را روشن خواهند ساخت.

تحلیل فراوانی

بخش پیش‌رو با هدف شناسایی الگوهای اولیه و ساختار مفهومی پنهان در ادبیات مورد بررسی، به تحلیل اکتشافی داده‌ها می‌پردازد. این نوع تحلیل‌ها، با تمرکز بر فراوانی واژگان و ساختار همکاری نویسندگان، تصویری اولیه از فضای پژوهشی ترسیم می‌کنند. نتایج این مرحله، مبنایی برای بررسی‌های عمیق‌تر و استخراج چارچوب‌های مفهومی در ادامه مقاله فراهم می‌آورد. جدول ۲ خلاصه نتایج را نشان می‌دهد.

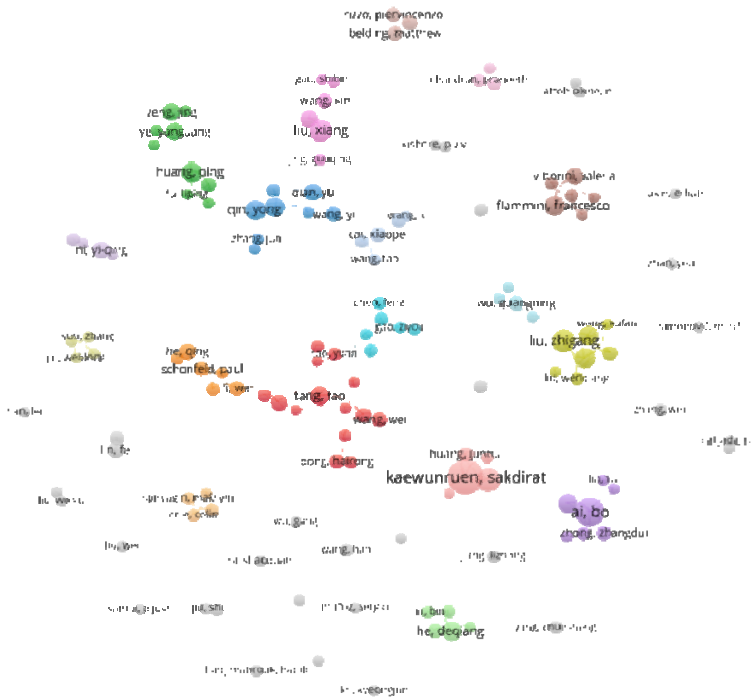
جدول ۲. میزان فراوانی واژگان کلیدی در پژوهش‌ها

رتبه	فراوانی کل	مجموع	فراوانی در مقاله			کلیدواژه
			چکیده	کلیدواژگان	عنوان	
۱	۱۶۱۶	۱۳۸۹	۳۸۰	۱۹۹	۲۴۱	Machine learning
		۲۲۷	۱۱۲	۱	۱	ML
۲	۱۲۰۶	۱۱۷۶	۳۳۰	۱۵۸	۲۲۵	Deep Learning
		۳۰	۱۵	۰	۰	DL
۳	۱۱۹۷	۶۵۷	۱۶۶	۱۰۵	۱۱۷	Reinforcement Learning
۴	۹۹۰	۶۶۶	۱۹۸	۸۳	۱۰۴	Convolutional Neural Network
		۳۲۴	۱۴۶	۱۵	۲	CNN
۵	۹۳۹	۶۷۳	۱۸۵	۹۹	۱۰۵	Artificial Neural Network
		۲۶۶	۱۱۶	۱۷	۰	ANN
۶	۸۲۴	۸۲۴	۲۳۰	۱۱۱	۱۴۲	Genetic Algorithm
۷	۸۰۸	۴۳۴	۱۳۶	۵۲	۶۰	Digital Twin
۸	۷۰۳	۴۱۲	۱۰۹	۷۰	۵۵	Artificial Intelligence
		۲۹۱	۱۱۶	۱۴	۳۱	AI
۹	۶۲۳	۲۸۶	۷۹	۴۵	۳۸	Internet of Things
		۳۳۷	۱۲۶	۲۰	۴۵	IOT
۱۰	۴۵۱	۲۴۵	۷۱	۳۲	۳۹	Fuzzy Logic
۱۱	۴۱۹	۲۲۶	۶۵	۳۳	۳۳	Computer Vision

تحلیل فراوانی واژگان کلیدی نشان می‌دهد که در سال‌های اخیر، تمرکز پژوهش‌ها بر مفاهیمی همچون یادگیری ماشین^۱، شبکه‌های عمیق^۲، شبکه‌های عصبی مصنوعی^۳ و شبکه‌های عصبی پیچشی^۳ افزایش چشمگیری داشته است. این واژگان با بیشترین تکرار در عنوان، چکیده و کلیدواژه‌های مقاله‌ها ظاهر شده‌اند. این مسئله نشان می‌دهد که هوش مصنوعی در صنعت ریلی، عمدتاً از زاویه تکنیک‌های پیشرفته داده‌کاوی و پیش‌بینی مورد توجه قرار گرفته است. این تحلیل فراوانی به‌عنوان مرحله‌ای مقدماتی، زمینه را برای تحلیل هم‌رویدادی مفاهیم کلیدی، شناسایی ساختار معنایی حوزه، و استخراج چارچوب مفهومی در بخش‌های بعدی پژوهش فراهم می‌کند.

تحلیل هم‌نویسندگی^۴

در پاسخ به سؤال دوم پژوهش، مبنی بر تشخیص رابطه میان دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی و پژوهشگرانی که در زمینه کاربرد هوش مصنوعی در صنعت حمل‌ونقل ریلی فعال بوده‌اند، تحلیل هم‌نویسندگی انجام شد.



شکل ۶. نقشه هم‌نویسندگی بر اساس ارتباطات نویسندگان

1. Deep Learning – DL
2. Artificial Neural Networks – ANN
3. Convolutional Neural Networks – CNN
4. Co-Authorship

برای دستیابی به تعداد قابل تحلیل از نویسندگان و حذف نویسندگان با تعداد مقاله‌های بسیار اندک و همچنین، حذف مقاله‌هایی که ارجاع کمی دارند، حداقل تعداد مقاله‌های هر نویسنده ۳ و حداقل ارجاعات به نویسندگان ۲۰ ارجاع انتخاب شد. در نتیجه تعداد ۱۳۸ نویسنده از میان ۴۱۳۰ نویسنده انتخاب شد.

بررسی شبکه هم‌نویسندگی نویسندگان نشان داد که بیشترین فعالیت علمی در این حوزه، متعلق به پژوهشگرانی از چین و ایالات متحده بوده است. در میان آن‌ها، افرادی نظیر کاوونروئن^۱، آی^۲ و لیو^۳ به‌عنوان بازیگران کلیدی با بیشترین میزان ارجاع و قدرت همکاری شناسایی شدند. این الگو بیانگر شکل‌گیری خوشه‌هایی از پژوهشگران فعال است که به‌صورت مستمر در حال تولید دانش در این زمینه هستند. در گام بعد، به‌دلیل لزوم توجه به شبکه نویسندگان، در تحلیل نرم‌افزار مشخص شد که ۵۴ نویسنده به نحوی ارتباط دارند. از آنجا که ساختار کلی شبکه هم‌نویسندگی پژوهشگران در شکل ۶ نمایش داده شده است، در این تحلیل، خوشه‌بندی ارتباطی پژوهشگران نیز در دل همان نقشه لحاظ شده و از ارائه شکل مجزای مربوط به خوشه‌بندی صرف‌نظر شده است تا از تکرار تصویری پرهیز و تمرکز تحلیل حفظ شود. در تحلیل اطلاعات هم‌نویسندگی در پژوهش‌ها، مشخص شد که بیشترین تعداد قدرت ارتباطی^۴ فیما بین نویسندگان ۲۷ بوده است. علاوه بر این، بر اساس اطلاعات و تحلیل‌های هم‌نویسندگی، در جدول ۳ اطلاعات مرتبط با ترتیب بیشترین تعداد مقاله و بیشترین تعداد ارجاعات گزارش و مقایسه شده است.

جدول ۳. رتبه‌بندی ۱۰ نویسنده برتر از لحاظ تعداد ارجاعات

رتبه ارجاع	مجموع قدرت ارتباطی	تعداد ارجاع	تعداد مقاله	نویسندگان
۱	۲۴	۹۳۰	۲۸	kaewunruen, sakdirat
۲	۲۷	۶۱۲	۱۲	liu, zhigang
۳	۲۷	۵۵۵	۹	han, zhiwei
۴	۵	۴۵۹	۳	wang, hongrui
۵	۱۲	۴۳۱	۸	ja, limin
۶	۷	۳۴۷	۶	yin, jiateng
۷	۲۲	۳۴۴	۱۹	ai, bo
۸	۱۶	۳۴۲	۹	huang, ping
۹	۴	۳۲۷	۶	he, qing
۱۰	۱۶	۳۰۴	۸	tang, tao

با توجه به هم‌پوشانی زیاد میان نویسندگان برتر از منظر تعداد مقاله‌ها و تعداد ارجاعات و در راستای پرهیز از تکرار غیرضروری، از ارائه جدول صرف‌نظر شده و تمرکز تحلیل بر رتبه‌بندی نویسندگان براساس

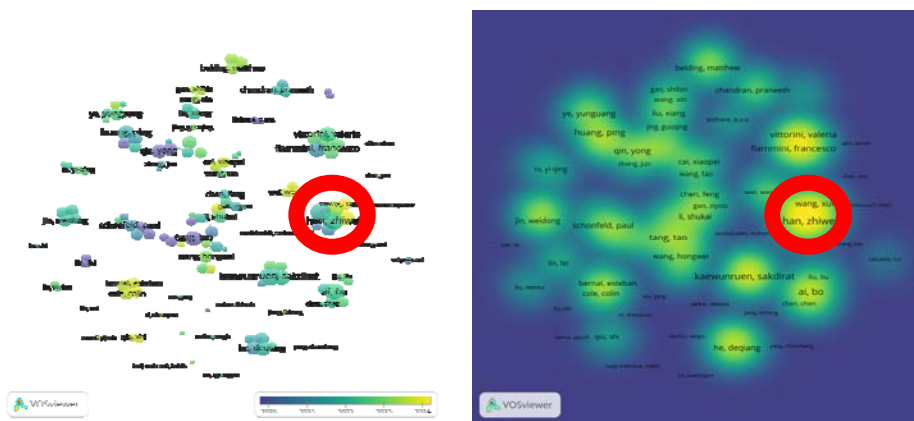
1. Kaewunruen

2. Ai

3. Liu

۴. Total Link Strength شاخصی برای سنجش قدرت ارتباط بین گره‌ها در شبکه‌های مفهومی

میزان ارجاع ها قرار گرفت. با این حال، بررسی تطبیقی این دو شاخص حاکی از آن است که برخی پژوهشگران نظیر Kaewunruen و Ai، همزمان در رتبه های بالای هر دو جدول قرار دارند؛ اما در برخی موارد مانند پژوهشگران با تولیدات زیاد و تأثیر پایین یا برعکس، تفاوت معناداری مشاهده می شود. برای نمونه، سه نویسنده پُرارجاع با رتبه های ۴، ۶ و ۹ در جدول ارجاعات، در میان ۱۰ نویسنده ای نیستند که بیشترین تعداد مقاله ها را دارند. از سوی دیگر، نویسنده ای که سومین رتبه را در تعداد مقاله ها دارد، حتی در فهرست نویسندگان پُر تأثیر دیده نمی شود. این تفاوت نشان می دهد که در ارزیابی ساختار شبکه علمی، صرف تعداد انتشارات کافی نیست و تحلیل مبتنی بر ارجاع ها می تواند درک دقیق تری از بازیگران کلیدی در حوزه پژوهشی فراهم آورد.

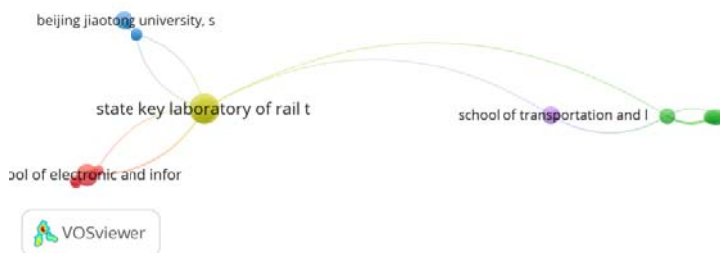


شکل ۷. نقشه ارتباط قدرت ارتباط با انتشار مقاله ها در سال های جدید

از سوی دیگر، با توجه به شکل ۷ که از دو بخش تحلیل نمودارهای قدرت ارتباطات هم نویسندگی (سمت راست) و سال های انتشار مقاله ها (سمت چپ) تشکیل شده است، می توان به ارتباط مستقیم مقاله های اخیر و نزدیک به سال ۲۰۲۴ (با رنگ زرد نشان داده شده است) با قدرت ارتباطات بیشتر توجه کرد. به طور مثال، نویسندگانی مانند هان^۱ و لئو^۲ با بالاترین قدرت ارتباطی هم نویسندگی در سال های اخیر، مقاله های بسیار زیادی را منتشر کرده اند که اثر آن در شکل ۷ به طور کامل مشخص است.

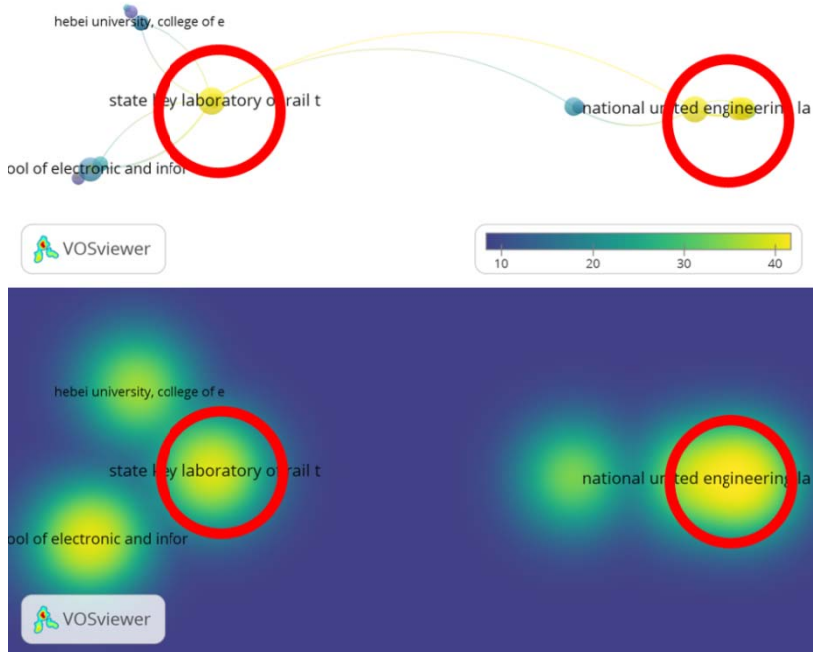
در ادامه پاسخ به سؤال دوم پژوهش، در مرحله بعد تحلیل هم نویسندگی روی سازمان ها انجام گرفت. برای این منظور در تنظیمات نقشه برای کنترل تعداد مناسب نتایج، برای هر سازمان ۳ پژوهش در نظر گرفته شد و در مجموع، می بایست سازمان دارای ۲۰ ارجاع باشد. تعداد ۴۳ سازمان دانشگاهی و پژوهشی، در نتیجه خود را نشان داده اند که تنها تعداد ۱۹ مرکز پژوهشی با یکدیگر ارتباط داشتند. نتیجه به صورت نقشه زیر نمایش داده شده است.

1. Zhiwei Han
2. Zhigang Liu



شکل ۸. روابط هم‌تألیفی میان دانشگاه‌ها و مؤسسات تحقیقاتی

از سوی دیگر همان‌گونه که در شکل ۹ مشخص است، رابطه مستقیمی بین میزان استنادهای مقاله‌های (تصویر بالا) و نقشه قدرت ارتباطی هر گره (تصویر پایین) وجود دارد؛ این بدین معناست که از بین پژوهش‌های انجام شده در زمینه هوش مصنوعی و فناوری‌های مرتبط با آن در صنعت حمل‌ونقل ریلی، زمانی که قدرت ارتباطی بین دانشگاه‌ها بالا بوده است، ارجاعات بیشتری نیز به پژوهش‌ها انجام شده است.



شکل ۹. نقشه مقایسه تعداد ارجاعات و قدرت ارتباطی مراکز پژوهشی

در جدول ۴ می‌توان تعداد مقاله‌ها، سازمان‌ها و ارجاع‌های انجام شده به پژوهش‌های سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۵ در خصوص هوش مصنوعی و فناوری‌های مرتبط با آن در صنعت حمل‌ونقل ریلی را مشاهده کرد. با اینکه بالاترین تعداد مقاله‌ها و همچنین استنادهای مربوط به آزمایشگاه اصلی دولتی برای حمل‌ونقل ریلی و ایمنی در کشور چین بوده است، رابطه معناداری بین تعداد مقاله‌ها و تعداد ارجاع‌ها دیده نشد. از سوی دیگر، ذکر این نکته ضروری است که همان‌گونه که در جدول ۴ نشان داده شده است، در بین ۱۰ سازمان با تعداد مقاله‌های بالاتر، ۸ دانشگاه و مرکز پژوهشی چینی بوده است و تنها ۲ مرکز آلمانی و سوئیسی در این ردیف قرار دارد.

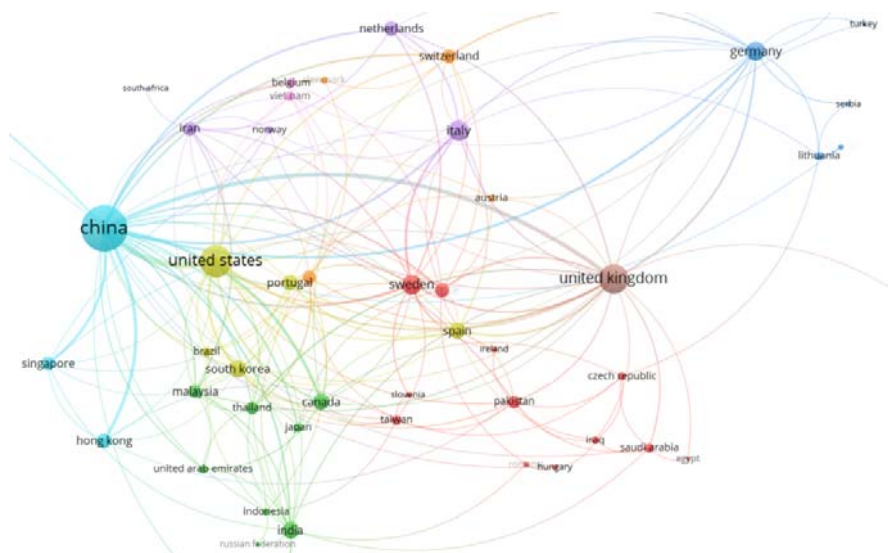
جدول ۴. سازمان‌های با بیشترین تعداد پژوهش در سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۵

کد	سازمان	مقاله‌ها	ارجاع	قدرت ارتباطی
۱	state key laboratory of rail traffic control and safety, beijing jiaotong university, beijing, 100044, china	۲۳	۱۲۵۱	۱۳
۲	school of electrical engineering, southwest jiaotong university, chengdu, 610031, china	۳	۴۸۴	۱
۳	school of traffic and transportation, beijing jiaotong university, beijing, 100044, china	۱۲	۴۶۰	۴
۴	state key laboratory of rail traffic control and safety, beijing jiaotong university, beijing, china	۸	۲۶۳	۴
۵	school of civil engineering, beijing jiaotong university, beijing, 100044, china	۱۲	۲۵۰	۱
۶	institute of land and sea transport systems, technical university of berlin, berlin, 10587, germany	۶	۲۴۱	۹
۷	national united engineering laboratory of integrated and intelligent transportation, southwest jiaotong university, chengdu, 610031, china	۶	۲۳۷	۱۲
۸	institute for transport planning and systems, eth zurich, zurich, 8093, switzerland	۵	۲۱۲	۹
۹	school of electronic and information engineering, beijing jiaotong university, beijing, 100044, china	۱۲	۲۰۲	۱۰
۱۰	school of civil engineering, beijing jiaotong university, beijing, china	۶	۱۹۵	۱

در جدول ۴ می‌توان تعداد مقاله‌ها، سازمان‌ها و استنادهای انجام شده به پژوهش‌های سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۵ در خصوص هوش مصنوعی و فناوری‌های مرتبط با آن در صنعت حمل‌ونقل ریلی را مشاهده کرد. با اینکه بالاترین تعداد مقاله‌ها و همچنین بیشترین میزان استنادها مربوط به آزمایشگاه اصلی دولتی

برای حمل‌ونقل ریلی و ایمنی در کشور چین بوده است، بررسی اولیه داده‌ها نشان می‌دهد که همواره هم‌زمانی تعداد بالای مقاله‌ها با تعداد بالای استنادها مشاهده نمی‌شود. برای مثال، برخی سازمان‌ها با تعداد کم‌ابیش پایین‌تر مقاله‌ها، به آن‌ها استناد بیشتری شده است و برعکس. از سوی دیگر، همان‌گونه که در جدول ۴ دیده می‌شود، در بین ۱۰ سازمان با بیشترین تعداد مقاله، ۸ مورد به مراکز پژوهشی چین تعلق دارد و تنها ۲ مرکز از آلمان و سوئیس در این فهرست قرار گرفته است.

در پاسخ به سؤال دوم پژوهش و تحلیل‌های مربوط به هم‌نویسندگی، کشورهایی که بیشترین قدرت ارتباطی هم‌نویسندگان پژوهش را در سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۵ در زمینه هوش مصنوعی و فناوری‌های آن در حوزه حمل‌ونقل ریلی داشته‌اند، بررسی شد. همان‌گونه که در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود، بیشترین تعداد مربوط به کشور چین با قدرت ارتباطی ۱۹۶ و سپس ایالات متحده آمریکا با قدرت ارتباطی ۹۶ است.



شکل ۱۰. نقشه قدرت ارتباطی هم‌نویسندگی طی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۵

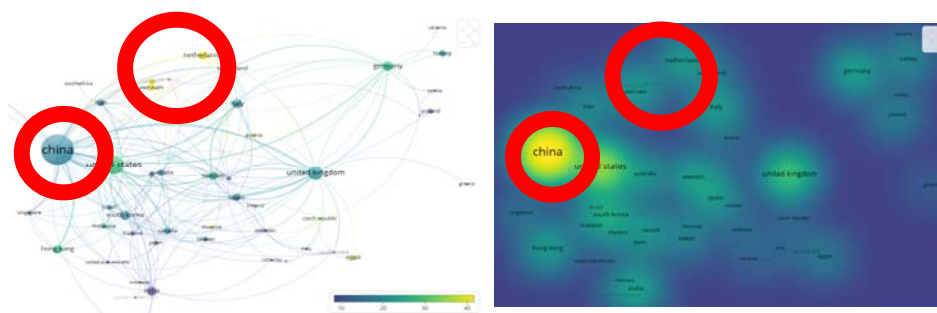
تحلیل روابط بین‌المللی نویسندگان ایرانی در حوزه هوش مصنوعی در صنعت حمل‌ونقل ریلی نشان می‌دهد که اگرچه ایران از نظر تعداد مقاله‌ها در میان ۱۰ کشور برتر قرار دارد، اما قدرت ارتباطی علمی آن با سایر کشورها نسبتاً ضعیف است. داده‌ها نشان می‌دهند که پژوهشگران ایرانی در این حوزه تنها با ۱۲ کشور همکاری ثبت‌شده دارند و میزان هم‌نویسندگی آن‌ها در مقایسه با کشورهای پیشرو در این زمینه، شایان توجه نیست. به‌طور خاص، تنها یک همکاری با پژوهشگران چینی (دارندگان بیشترین تعداد

مقاله) و دو همکاری با ایالات متحده و هلند ثبت شده است. این در حالی است که کشورهای نظیر چین، آمریکا، کره جنوبی و آلمان، از نظر شاخص استنادهای علمی در صدر هستند. مجموع قدرت ارتباطی پژوهشگران ایرانی با سایر کشورها در این تحلیل تنها ۱۸ گزارش شده است که این عدد در قیاس با شبکه های پُرپیوند مانند چین و آمریکا، فاصله ساختاری درخور توجهی را نشان می دهد. جدول ۵ به تفکیک، قدرت ارتباطی پژوهشگران ایرانی با کشورهای همکار را نمایش می دهد.

جدول ۵. مقایسه قدرت ارتباطی هم نویسندگی پژوهشگران ایرانی و کل قدرت ارتباطی کشورهای دوم

رتبه	اولین کشور	کشور دوم	قدرت ارتباطی	دومین کشور	TLS
۱	ایران	چین	۱	۱۹۶	۱۹۶
۲		ایالات متحده آمریکا	۲	۹۶	۹۶
۳		انگلستان	۲	۸۰	۸۰
۴		سوئد	۲	۳۶	۳۶
۵		کره جنوبی	۱	۲۷	۲۷
۶		پرتغال	۱	۲۳	۲۳
۷		هلند	۲	۲۱	۲۱
۸		مالزی	۳	۱۷	۱۷
۹		استرالیا	۱	۱۷	۱۷
۱۰		ویتنام	۱	۸	۸
۱۱		نروژ	۱	۶	۶
۱۲		آفریقای جنوبی	۱	۱	۱

بر اساس اطلاعات جدول ۵ می توان مشاهده کرد که هم نویسندگی پژوهشگران ایرانی با پژوهشگران کشورهایایی که بیشترین قدرت ارتباطی را داشته اند، بسیار کم بوده است و در صورت انجام پژوهش های مشترک با این کشورها، قدرت ارتباطی نویسندگان ایرانی نیز می تواند افزایش یابد.



شکل ۱۱. مقایسه تعداد استنادهای کل پژوهش (سمت راست) و متوسط استنادها (سمت چپ)

بر اساس تصویری که در شکل ۱۱ ارائه شده، به نظر می‌رسد تطابق مستقیمی میان تعداد کل استندهای پژوهش‌های هر کشور و میانگین استندها به ازای هر مقاله وجود ندارد. برای نمونه، کشور چین بیشترین تعداد کل استندها را در اختیار دارد، در حالی که کشورهایی مانند هلند، بلژیک و ویتنام از نظر میانگین استناد در جایگاه بالاتری قرار دارند. این یافته‌ها بر پایه تفسیر نمودار هستند و برای تأیید قطعی به داده‌های عددی دقیق نیازمندند؛ اما می‌توان آن‌ها را به‌عنوان نشانه‌هایی از تفاوت در کیفیت استنادی و سیاست‌های پژوهشی کشورها در نظر گرفت.

تحلیل هم‌رویدادی^۱

در مطالعات کتاب‌سنجی، هم‌رویدادی از روش‌های بنیادین برای کشف پیوندهای معنایی بین مفاهیم پژوهشی محسوب می‌شود. این پدیده به هم‌زیستی واژگان، اصطلاحات یا کلیدواژه‌ها در متون علمی اطلاق می‌شود که با تحلیل آن، الگوهای پنهان تعاملات موضوعی در یک حوزه دانش آشکار می‌شود. اهمیت این روش در قابلیت آن برای ترسیم ساختار دانش نهفته است؛ از شناسایی خوشه‌های پژوهشی پیشرو تا ردیابی تحولات مفهومی در طول زمان. هم‌رویدادی صرفاً بازتابی از تکرار مفاهیم نیست، بلکه با نمایش ارتباطات غیرمستقیم بین ایده‌ها، بستر مناسبی برای کشف حوزه‌های بین‌رشته‌ای و کانون‌های نوآوری فراهم می‌کند.

در ابتدا تعداد واژگان ۶۰۹ واژه و تحلیل‌شدنی نبود؛ از این رو کلیه واژگانی که حداقل ۴۰ بار در مجموع واژگان کلیدی نویسنده و مجله تکرار شده بودند، انتخاب شدند. نخستین مشکل تکرار واژگان متفاوت ولی هم مفهوم بود. بنابراین، تک‌به‌تک تمامی واژگان کلیدی بررسی شد. بیشترین تکرار مربوط به واژگان ذکر شده در جدول ۶ است. همچنین در ستون سوم در جدول ۶ کلیه واژگانی که جایگزین شده‌اند نیز برای شفافیت موضوع برای خوانندگان ذکر شده‌اند.

جدول ۶. تعداد هم‌رویدادی واژگان کلیدی نویسندگان و مجله‌ها

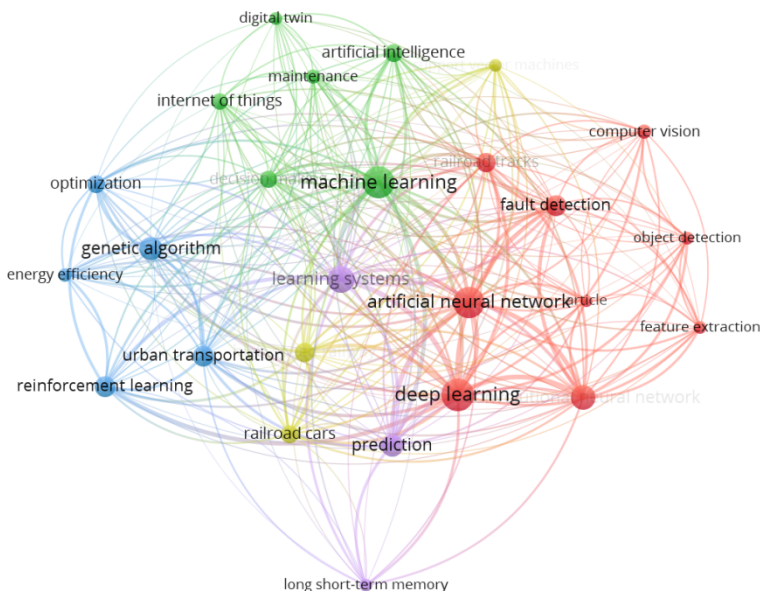
رتبه	واژگان کلیدی جایگزین شده	واژه کلیدی نهایی	رویدادها	قدرت ارتباطی
۱	railroads, railway, railway transport, rails, railroad transportation	rail transportation	۶۸۰	۱۹۲۳
۲	-	deep learning	۲۹۴	۹۶۳
۳	machine-learning	machine learning	۲۷۵	۷۴۶
۴	artificial neural networks, neural networks, neural-networks, deep neural networks	artificial neural network	۲۶۲	۷۲۰
۵	learning algorithms	learning systems	۱۹۷	۷۴۴
۶	convolutional neural networks, convolution	convolutional neural network	۱۶۶	۵۴۹
۷	genetic algorithms	genetic algorithm	۱۴۵	۲۴۹

رتبه	واژگان کلیدی جایگزین شده	واژه کلیدی نهایی	رویدادها	قدرت ارتباطی
۸	forecasting	prediction	۱۴۲	۴۶۳
۹	reinforcement learnings, deep reinforcement learning	reinforcement learning	۱۲۲	۳۶۶
۱۰	failure analysis, damage detection, defects	fault detection	۱۲۰	۴۲۰
۱۱	light rail transit, urban rail transit, subways	urban transportation	۱۱۹	۳۰۱
۱۲	high-speed railways, high speed trains	high-speed railway	۱۰۳	۳۸۳
۱۳	railway track	railroad tracks	۱۰۰	۳۵۹
۱۴	optimisations	optimization	۸۸	۲۵۵
۱۵	-	railroad cars	۸۷	۳۲۶
۱۶	-	artificial intelligence	۸۶	۲۳۰
۱۷	decision trees	decision making	۸۳	۲۸۱
۱۸	-	internet of things	۷۷	۱۶۲
۱۹	-	maintenance	۵۷	۱۶۲
۲۰	-	computer vision	۵۵	۱۵۰
۲۱	energy utilization	energy efficiency	۵۳	۱۸۷
۲۲	-	digital twin	۴۶	۹۱
۲۳	-	feature extraction	۴۵	۱۶۳
۲۴	-	support vector machines	۴۵	۱۷۱
۲۵	-	long short-term memory	۴۳	۱۵۷
۲۶	-	object detection	۴۳	۱۴۷
۲۷	-	article	۴۱	۱۵۶

در بررسی جدول هم‌رویدادی واژگان کلیدی می‌توان مشاهده کرد که بین میزان هم‌رویدادی و قدرت ارتباطی واژگان کلیدی، تفاوت وجود دارد.

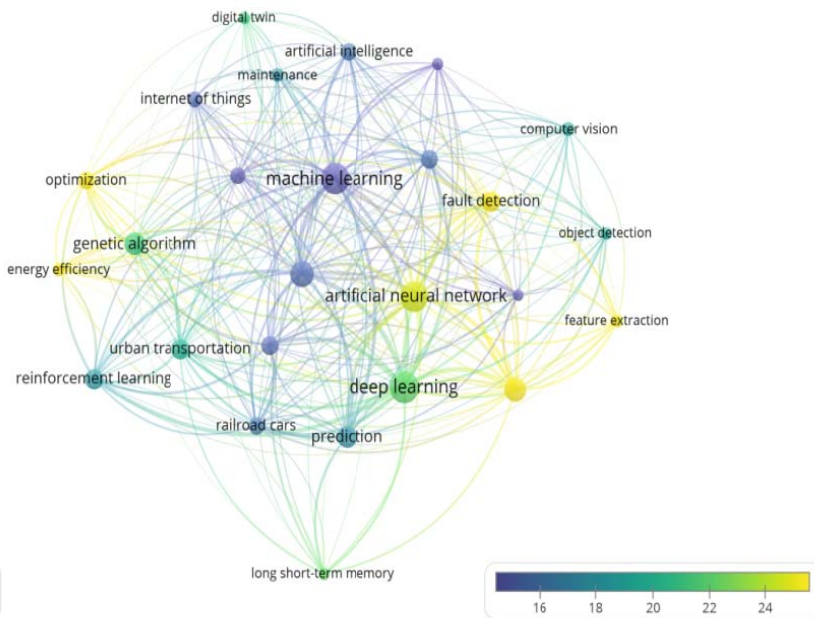
مقایسه میان رتبه‌بندی واژگان کلیدی از منظر تعداد هم‌رویدادی و قدرت ارتباطی نشان می‌دهد که هرچند در رتبه‌های ابتدایی دو شاخص، واژگانی مانند «rail transportation»، «deep learning» و «machine learning» جایگاه یکسانی دارند؛ اما در رتبه‌های بعد تفاوت‌هایی مشاهده می‌شود. برای نمونه، واژه «learning systems» از نظر قدرت ارتباطی در رتبه چهارم قرار دارد، در حالی که از نظر فراوانی در جایگاه پنجم است. همچنین، «prediction» و «fault detection» که در جدول قدرت ارتباطی در جایگاه‌های هفتم و هشتم قرار دارند، از نظر تعداد هم‌رویدادی رتبه‌های پایین‌تری داشته و به ترتیب هشتم و نهم هستند. از سوی دیگر، واژه «reinforcement learning» که در شاخص فراوانی در رتبه نهم قرار دارد، در شاخص قدرت ارتباطی به رتبه دهم تنزل پیدا کرده است. این تفاوت‌ها بیانگر آن است که

صرف فراوانی یک واژه نمی‌تواند نشان‌دهنده جایگاه مفهومی آن در ساختار دانشی باشد و شاخص قدرت ارتباطی می‌تواند اطلاعات غنی‌تری از جایگاه مفاهیم در شبکه معنایی ارائه کند. با اینکه تفاوت ظاهری بین دو رتبه‌بندی تنها در حذف «reinforcement learning» از جدول اول و اضافه شدن «high-speed railway» به جدول دوم به نظر می‌رسد، بررسی دقیق‌تر نشان می‌دهد که در شاخص قدرت ارتباطی، مفاهیمی با کاربردهای مشخص در صنعت ریلی مانند پیش‌بینی، تشخیص عیوب و قطارهای پرسرعت جایگاه پررنگ‌تری پیدا کرده‌اند. این یافته نشان می‌دهد که برخی واژگان، به‌طور مکرر در متون ظاهر نشده‌اند؛ اما از منظر ارتباط با سایر مفاهیم کلیدی و نقش آن‌ها در پیوند خوشه‌های موضوعی مختلف، در شبکه مفهومی این حوزه جایگاه مهمی دارند؛ پس تحلیل تلفیقی هر دو شاخص برای استخراج مفاهیم مرکزی در ادبیات حوزه دیجیتال‌سازی ریلی با فناوری‌های هوش مصنوعی ضروری است. با توجه به تکرار بسیار بالای واژه «rail transportation» در مقاله‌های مورد بررسی و نقش آن به‌عنوان یک کلیدواژه غالب، مشخص شد که این واژه در نقشه اولیه هم‌رویدادی باعث استتار مفاهیم دیگر، به‌ویژه فناوری‌های هوش مصنوعی شده است. از این‌رو، به‌صورت هدفمند، نسخه‌ای از نقشه هم‌رویدادی بدون این واژه تولید شد تا تمرکز بصری و تحلیلی بر واژگان تخصصی فناوری‌های هوش مصنوعی و کاربردهای آن‌ها در صنعت ریلی فراهم شود. نتیجه این بازتحلیل، امکان استخراج خوشه‌های معنایی روشن‌تر و تحلیل ساختار دانشی دقیق‌تری را فراهم آورد.



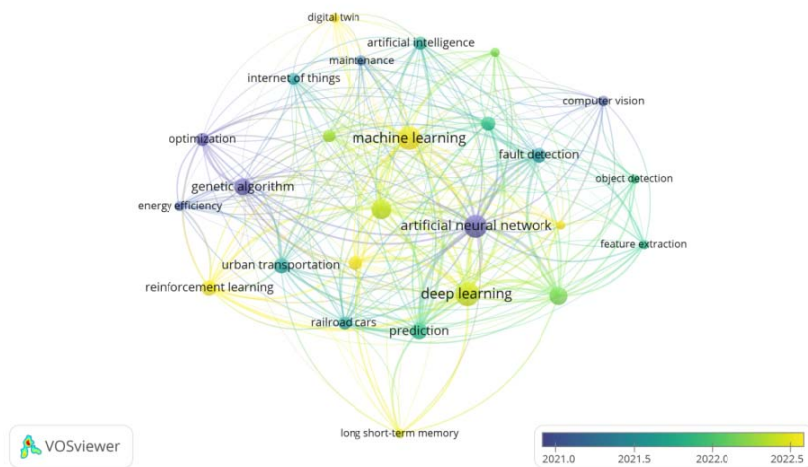
شکل ۱۲. نقشه قدرت ارتباطی بین واژگان کلیدی

شکل ۱۲ نشان‌دهنده نقشه نهایی قدرت ارتباطی بین واژگان کلیدی و خوشه‌های تعریف شده است. این نقشه در ۵ خوشه ترسیم شده و همان‌طور که در شکل ۱۲ مشخص شده است، شبکه‌های عصبی، یادگیری عمیق و تشخیص خطا در یک خوشه قرار گرفته‌اند. از طرف دیگر ارتباط هم‌رویدادی معناداری بین یادگیری ماشین، تعمیرات و اینترنت اشیا وجود دارد. ذکر این نکته ضروری است که مباحث مرتبط با پیش‌بینی در خوشه سیستم‌های یادگیرنده قرار گرفته و الگوریتم‌های ژنتیک، بهینه‌سازی، بهره‌وری انرژی، یادگیری تقویتی^۱ و حمل‌ونقل شهری نیز مربوط به یک خوشه هستند.



شکل ۱۳. نقشه مصور متوسط ارجاعات هر موضوع پژوهشی

در مقایسه دو شکل ۱۳ و ۱۴ به وضوح مشخص است که موضوعات پرطرفدار پژوهشی در سال‌های اخیر لزوماً موضوعات پُر استناد نبوده‌اند. به‌طور مثال در سال‌های اخیر عمده پژوهش‌ها در زمینه کاربرد هوش مصنوعی در حمل‌ونقل ریلی در زمینه یادگیری ماشینی، یادگیری عمیق، دوقلوهای دیجیتال و یادگیری تقویتی بوده است. این در حالی است که پُر استنادترین موضوعات که در شکل ۱۳ نمایش داده شده است، مباحث مرتبط با شبکه‌های عصبی مصنوعی، تشخیص خطا، بهینه‌سازی سوخت و همین‌طور شبکه‌های عصبی پیچشی بوده است.



شکل ۱۴. نقشه مصور میزان مقالات منتشر شده بر اساس سال

در مقایسه دو شکل ۱۳ و ۱۴ به‌وضوح مشخص است که موضوعات پرتعداد پژوهشی در سال‌های اخیر لزوماً موضوعات پُر استناد نبوده‌اند. به‌طور مثال در سال‌های اخیر عمده پژوهش‌ها در زمینه کاربرد هوش مصنوعی در حمل‌ونقل ریلی در زمینه یادگیری ماشینی، یادگیری عمیق، دوقلوهای دیجیتال و یادگیری تقویتی بوده است. این در حالی است که پُر استنادترین موضوعات که در شکل ۱۳ نمایش داده شده است، مباحث مرتبط با شبکه‌های عصبی مصنوعی، تشخیص خطا، بهینه‌سازی سوخت و همین‌طور شبکه‌های عصبی پیچشی بوده است.

چارچوب مفهومی تلفیقی و گزاره‌های پیشنهادی برای پژوهش‌های آینده

مطالعه حاضر با بهره‌گیری از روش کتاب‌سنجی و تحلیل بصری داده‌ها، تلاش کرده است تا ساختار مفهومی پژوهش‌ها در حوزه به‌کارگیری هوش مصنوعی در صنعت حمل‌ونقل ریلی را آشکار سازد. مطابق با توصیه‌های دانته و همکاران^۱ (۲۰۲۱)، مطالعات کتاب‌سنجی باید از تحلیل‌های توصیفی فراتر روند و به ارائه چارچوب‌های مفهومی برای هدایت تحقیقات آینده بپردازند. این رویکرد به پژوهشگران کمک می‌کند تا شکاف‌های موجود در ادبیات را شناسایی کنند و مسیرهای پژوهشی جدیدی را پیشنهاد دهند.

یافته‌های این تحقیق نشان داد که فناوری‌هایی نظیر یادگیری ماشین، یادگیری عمیق، الگوریتم‌های ژنتیک و دوقلوهای دیجیتال، در زمره پُر تکرارترین مفاهیم در ادبیات علمی هستند که عمدتاً در زمینه‌هایی مانند نگهداری پیش‌بینانه، پایش سلامت زیرساخت‌ها، زمان‌بندی هوشمند و سیستم‌های ایمنی به‌کار گرفته شده‌اند. تحلیل نقشه‌های هم‌رخدادی واژگان کلیدی، چگالی موضوعی و خوشه‌بندی مفاهیم (مشمول بر ۵ خوشه اصلی)، مبنای استنتاج ساختار محتوایی این حوزه بوده است. بر این اساس،

چهار محور مفهومی غالب شناسایی شد: فناوری‌محور (مفاهیمی مانند Digital, Machine Learning, Reinforcement Learning, Twin, کاربردمحور (مانند Predictive Maintenance و Fault Detection)، نتیجه‌محور (مانند Automation, Efficiency, Optimization) و چالش‌محور (که با استنباط از غیبت واژگانی مانند Change Management یا Cybersecurity استنتاج شده است). این دسته‌بندی تلفیقی از تحلیل‌های شبکه‌ای و بررسی معنایی خوشه‌هاست که در ادامه به منظور طراحی چارچوب مفهومی مورد استفاده قرار گرفته است.

با توجه به یافته‌های به‌دست‌آمده از تحلیل هم‌رخدادی واژگان، چگالی موضوعی و خوشه‌بندی مفاهیم، چارچوب مفهومی پیشنهادی این پژوهش به صورت استقرایی و با تلفیق نتایج تحلیلی و مرور ادبیات علمی طراحی شده است. در این چارچوب، رابطه‌ی علی مفروض میان فناوری‌های هوش مصنوعی (به‌عنوان متغیر مستقل)، کاربردهای آن‌ها در صنعت ریلی (متغیر میانجی) و نتایج عملکردی (متغیر وابسته)، نه از داده‌های آماری، بلکه به‌عنوان یک الگوی نظری پیشنهادی بر مبنای استنباط مفهومی ارائه شده است. همچنین، موانع پیاده‌سازی نظیر چالش‌های داده‌ای، زیرساختی و سازمانی به‌عنوان متغیرهای تعدیلگر در نظر گرفته شده‌اند. طراحی چنین چارچوب‌هایی در مطالعات کتاب‌سنجی اکتشافی، به‌ویژه در حوزه‌های فنی، روشی رایج برای هدایت پژوهش‌های آتی و نظریه‌پردازی اولیه تلقی می‌شود. مؤلفه‌های کلیدی چارچوب مفهومی به شرح ذیل تعریف شده است.

• فناوری‌های هوش مصنوعی^۱

این مؤلفه بر پایه‌ی واژگان پرتکرار و مرکزی مانند Machine Learning, Deep Learning, Genetic Algorithm, Artificial Intelligence, Digital Twin شکل گرفته است که هم در جدول واژگان پرتکرار و هم در نقشه خوشه‌بندی مفاهیم با تراکم بالا دیده می‌شوند. این فناوری‌ها به‌عنوان زیرساخت‌های فنی کاربرد هوش مصنوعی در صنعت ریلی، در مرکز تحلیل‌ها قرار گرفته‌اند.

• کاربرد در فرایندهای صنعت حمل‌ونقل ریلی^۲

این مؤلفه شامل واژگان و حوزه‌هایی مانند Predictive Maintenance, Condition Monitoring, Scheduling, Fault Detection, Safety Management است که در نقشه‌های موضوعی و چگالی، به‌عنوان خوشه‌های اصلی از کاربرد AI در ریلی دیده می‌شوند. به‌ویژه واژه Predictive Maintenance در چندین نقشه به‌عنوان نود مرکزی ظاهر شده است.

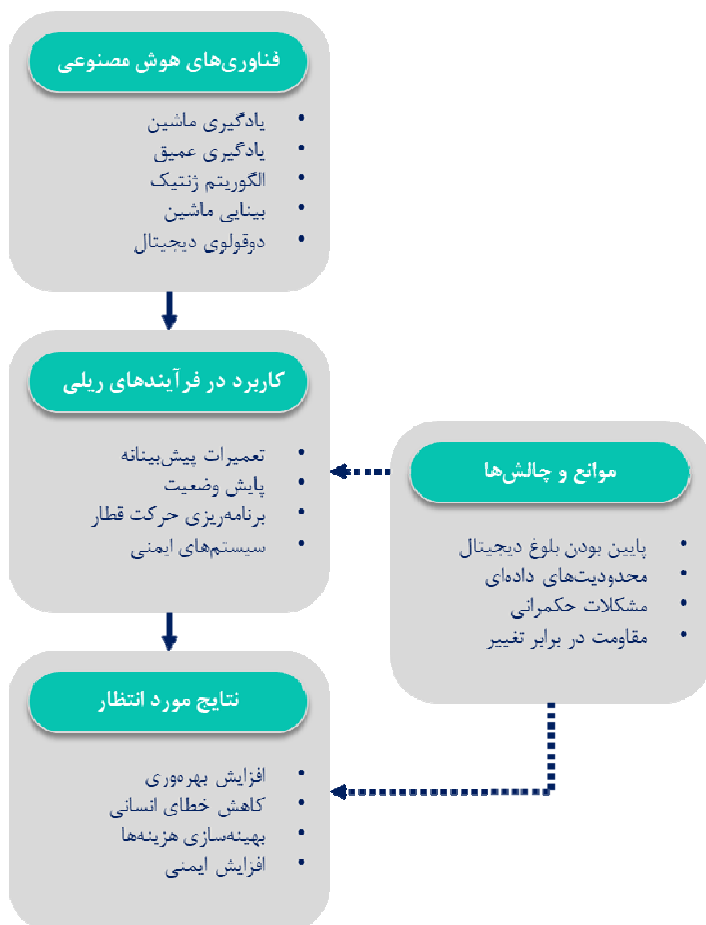
• موانع و چالش‌ها^۳

این مؤلفه به‌صورت مستقیم در قالب کلیدواژه ظاهر نشده؛ اما به‌شکل تحلیلی - استنباطی و بر اساس فقدان مشارکت نهادهای بهره‌بردار (مانند راه‌آهن‌ها یا شرکت‌های اپراتور) در شبکه‌های همکاری علمی

قابل استنتاج است. همچنین، غیبت مفاهیمی مانند Change Management, Digital Transformation Readiness یا Cybersecurity در واژگان پرتکرار، نشان‌دهنده تمرکز پایین بر چالش‌های سازمانی است.

• نتایج مورد انتظار^۱

در تحلیل‌های مختلف، مفاهیمی مانند Optimization, Efficiency, Productivity, Safety, Cost Reduction, Automation به‌عنوان خروجی‌های مطلوب استفاده از AI در صنعت ریلی معرفی شده‌اند. این واژه‌ها در چندین خوشه مفهومی و در جدول فراوانی کلیدواژه‌ها حضور دارند و نمایانگر انتظارات کلیدی از به‌کارگیری فناوری‌های هوشمند هستند.



شکل ۱۵. چارچوب مفهومی پیشنهادی

در این چارچوب، فرض بر آن است که فناوری‌های هوش مصنوعی، به‌واسطه پیاده‌سازی در کاربردهای مشخص فرایندهای ریلی، بر نتایج عملیاتی اثرگذارند. این رابطه می‌تواند تحت تأثیر موانع سازمانی یا تکنولوژیکی، تضعیف یا تسهیل شود. بنابراین، تأثیر AI بر بهبود عملکرد سیستم‌های ریلی، مشروط به موفقیت در غلبه بر چالش‌های زیرساختی، داده‌ای و مدیریتی خواهد بود. با اتکا به مدل مفهومی فوق، پنج گزاره پیشنهادی به‌عنوان مسیرهای بالقوه برای مطالعات آینده مطرح می‌شود.

بر اساس چارچوب مفهومی طراحی‌شده در این پژوهش، مجموعه‌ای از گزاره‌های پژوهشی پیشنهاد می‌شود که می‌توانند به‌عنوان نقطه شروعی برای مطالعات تجربی یا توسعه نظری در آینده مورد استفاده قرار گیرند:

- **P1.** با توجه به یافته‌های جدول فراوانی واژگان کلیدی و تحلیل هم‌رویدادی واژگان، مفاهیمی مانند *deep learning*, *machine learning* و *genetic algorithm* بیشترین حضور را در متون داشته‌اند. پژوهش‌های آینده می‌توانند به مقایسه کارآمدی این فناوری‌ها در حل مسائل خاص صنعت ریلی مانند *predictive maintenance*, *real-time scheduling* و *fault detection* بپردازند و نقش فناوری‌های کمتر بررسی‌شده مانند *reinforcement learning* یا *digital twin* را به‌صورت کاربردی بررسی کنند.
- **P2.** خوشه‌بندی موضوعی واژگان کلیدی نشان داد که کاربردهای هوش مصنوعی در صنعت ریلی به‌صورت پراکنده و موضوع‌محور بوده‌اند، بدون هم‌افزایی میان‌فرایندی. پژوهش‌های آتی می‌توانند با تمرکز بر یکپارچه‌سازی این فناوری‌ها در زنجیره کامل عملیات ریلی، از تحلیل توصیفی فاصله گیرند و به توسعه مدل‌های بهینه‌سازی ترکیبی در سطوح استراتژیک و عملیاتی بپردازند.
- **P3.** نقشه هم‌نویسندگی بین کشورها نشان داد که کشورهایی مانند ایران، با وجود قرارگیری در میان ۱۰ کشور برتر از نظر تعداد مقاله‌ها، از نظر قدرت ارتباطی بین‌المللی در سطح پایینی قرار دارند. بنابراین پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های آینده ضمن بررسی موانع ساختاری و سیاست‌گذاری همکاری‌های علمی، نقش همکاری‌های بین‌دانشگاهی و کنسرسیوم‌های بین‌المللی را در بهبود کیفیت پژوهش‌ها بررسی کنند.
- **P4.** تحلیل چگالی مفاهیم و تفاوت میان رتبه‌های *Occurrence* و *TLS* نشان داد که برخی مفاهیم بنیادین مانند *optimization*, *cybersecurity* و *change management* در تحلیل‌ها غایب یا کم‌رنگ‌اند. پیشنهاد می‌شود پژوهشگران آینده با تمرکز بر مفاهیم مغفول‌مانده، چالش‌های نهادی، فرهنگی و فناورانه پیاده‌سازی هوش مصنوعی در صنعت ریلی را شناسایی و مدل‌سازی کنند.
- **P5.** بر مبنای چارچوب مفهومی تلفیقی ارائه‌شده و تحلیل‌های هم‌زمان خوشه‌بندی و هم‌رویدادی، پیشنهاد می‌شود که مطالعات آتی به طراحی مدل‌های تجربی و آزمون‌پذیر

بپردازند که رابطه میان فناوری‌های هوش مصنوعی، حوزه‌های کاربرد و نتایج عملکردی را با در نظر گرفتن موانع سازمانی، به صورت ساختارمند تبیین کنند. استفاده از روش‌هایی مانند مدل‌سازی معادلات ساختاری یا تحلیل مسیر می‌تواند در این زمینه راه‌گشا باشد.

جمع بندی و نتیجه‌گیری

در دهه‌های اخیر، دیجیتالی‌سازی صنعت حمل‌ونقل ریلی با تکیه بر فناوری‌های هوش مصنوعی، به یکی از محورهای تحول در مدیریت زیرساخت‌های حیاتی تبدیل شده است. پژوهش حاضر با بهره‌گیری از روش کتاب‌سنجی و تحلیل ساختار دانشی ۱,۲۰۲ مقاله نمایه‌شده در پایگاه اسکوپوس تلاش کرده است که نقشه دانشی مقدماتی این حوزه را ترسیم کند. هدف، شناسایی فناوری‌های غالب، مفاهیم نوظهور، بازیگران کلیدی و شکاف‌های موضوعی در پژوهش‌های مرتبط با هوش مصنوعی در صنعت ریلی بوده است.

• روش‌شناسی و مسیر تحلیل

مطالعه با رویکردی اکتشافی طراحی شد و از ابزار وس‌ویور برای تحلیل شبکه‌های هم‌نویسندگی، هم‌رخدادی واژگان کلیدی، چگالی موضوعی و خوشه‌بندی مفاهیم استفاده شد. کلیدواژه‌ها با ترکیب مفاهیم مربوط به فناوری‌های هوش مصنوعی و سیستم‌های ریلی تعیین شدند. خروجی‌های تحلیلی از جمله جدول فراوانی واژگان کلیدی، جدول مقایسه TLS و هم‌رخدادی و شکل‌های خوشه‌بندی مفاهیم و شبکه همکاری کشورها، پایه‌ای برای تبیین ساختار دانشی این حوزه فراهم کردند. اگرچه پژوهش حاضر از روش‌های تحلیلی پیشرفته‌تری مانند تحلیل موضوعی خودکار یا طبقه‌بندی متون استفاده نکرده است؛ اما در جایگاه یک تحلیل اکتشافی، شالوده‌ای مفهومی و قابل اتکا برای پژوهش‌های آتی فراهم آورده است.

• یافته‌های کلیدی پژوهش

تحلیل داده‌ها نشان داد که واژگانی مانند Artificial Neural, Deep Learning, Machine Learning, Networks, Genetic Algorithm و Digital Twin در زمره پرتکرارترین مفاهیم‌اند که عمدتاً در حوزه‌هایی نظیر نگهداری پیش‌بینانه، زمان‌بندی هوشمند و پایش سلامت زیرساخت استفاده شده‌اند. فناوری‌هایی مانند Convolutional Neural Networks و Reinforcement Learning به‌عنوان روندهای نوظهور، در زمینه‌هایی چون کنترل زمان‌واقعی و شبیه‌سازی عملکرد دارند. تحلیل ساختار علمی نشان داد که کشور چین (به‌ویژه دانشگاه Beijing Jiaotong) سهم برجسته‌ای در تولیدات علمی این حوزه دارد، در حالی که کشورهای در حال توسعه مانند ایران از نظر قدرت شبکه علمی بین‌المللی ضعیف‌تر ظاهر شده‌اند. همچنین، مفاهیمی همچون Change Management, Cybersecurity و Supply Chain Optimization به‌ندرت در ادبیات ظاهر شده‌اند، که نشان‌دهنده خلأهای تحقیقاتی موجود است.

- مشارکت علمی مقاله و چارچوب پیشنهادی
این مطالعه با تلفیق خروجی‌های حاصل از خوشه‌بندی مفهومی و تحلیل چگالی موضوعی، موفق به تدوین چارچوبی نظری شد که حوزه پژوهش را در چهار محور کلیدی تفکیک می‌کند: ۱. فناوری‌محور؛ ۲. کاربردمحور؛ ۳. نتیجه‌محور؛ ۴. چالش‌محور. این چارچوب مفهومی، شالوده‌ای برای توسعه مدل‌های تحلیلی و آزمون‌پذیر فراهم می‌کند و می‌تواند در تحقیقات آینده، نقش نظریه‌پردازانه ایفا کند. همچنین، گزاره‌های پیشنهادی (P1 تا P5) با تأکید بر فناوری‌های مغفول، امکان‌سنجی یکپارچه‌سازی، و تقویت همکاری علمی، نقشه راهی برای پژوهش‌های آتی ترسیم می‌کنند.
- محدودیت‌ها و پیشنهاد برای پژوهش‌های آتی
محدودیت اصلی این پژوهش تمرکز بر داده‌های ساختاری نمایه‌شده در پایگاه اسکوپوس بوده است؛ تحلیل محتوای چکیده‌ها، طبقه‌بندی متون و استفاده از روش‌های NLP^۱ در این مطالعه مدنظر نبوده است. همچنین، داده‌ها تنها تا آغاز سال ۲۰۲۵ را پوشش داده‌اند. پیشنهاد می‌شود مطالعات آتی با بهره‌گیری از رویکردهای ترکیبی، از جمله (Latent Dirichlet Allocation (LDA، K-Means Clustering، Classification Trees و تحلیل‌های معنایی پیشرفته، به مدل‌سازی دقیق‌تری از ساختار مفهومی این حوزه بپردازند. این مسیر می‌تواند موجب درک عمیق‌تر پیشران‌های دیجیتال‌سازی ریلی و طراحی سیاست‌های مبتنی بر داده شود.

فهرست منابع

- Bak, S., Bogomolov, S., Duggirala, P. S., Gerlach, A. R. & Potomkin, K. (2021). Reachability of black-box nonlinear systems after koopman operator linearization. *IFAC-PapersOnLine*, 54(5), 253-258.
- Berman, G., Chubb, J. & Williams, K. (2023). *The Use of Artificial Intelligence in Science, Technology, Engineering, and Medicine*, s.l.: The Royal Society.
- Bešinović, N., De Donato, L., Flammini, F., Goverde, R. M., Lin, Z., Liu, R., ... & Vittorini, V. (2021). Artificial intelligence in railway transport: Taxonomy, regulations, and applications. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 23(9), 14011-14024.
- Bharadiya, J. P. (2023). The Impact of Artificial Intelligence on Business Processes. *European Journal of Technology*, 7(2), 15-25.
- Bianchi, G., Freddi, F., Giuliani, F. & La Placa, A. (2025). Implementation of an AI-based predictive structural health monitoring strategy for bonded insulated rail joints using digital twins under varied bolt conditions. *Railway Engineering Science*, 1-18.
- Bumann, J. & Peter, M. K. (2019). Action Fields of Digital Transformation - A Review and Comparative Analysis of Digital Transformation Maturity Models and Frameworks. In: *Digitalisierung und andere Innovationsformen im Management*. s.l.:edition gesowip, pp. 13-40.

- Chapuis, R., Melnikov, L. & Sandri, N. (2024). *The journey toward AI-enabled railway companies*, Milan: McKinsey & Company.
- De Donato, L., Dirnfeld, R., Somma, A., De Benedictis, A., Flammini, F., Marrone, S., ... & Vittorini, V. (2023). Towards AI-assisted digital twins for smart railways: preliminary guideline and reference architecture. *Journal of Reliable Intelligent Environments*, 9(3), 303-317.
- Djordjević, B., Krmac, E., Lin, C. Y., Fröidh, O. & Kordnejad, B. (2024). An optimisation-based digital twin for automated operation of rail level crossings. *Expert Systems with Applications*, 239, 122422.
- Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N. & Lim, W. M. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of business research*, 133, 285-296.
- Galushko, O., Kovalenko-Marchenkova, Y., Chernova, N., Kasadzyk, A. & Gechbaia, B. (2024). Impact of railway infrastructure on sustainable development of regions. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 558, p. 01035). EDP Sciences.
- Giunta, M. (2023). Trends and Challenges in Railway Sustainability: The State of the Art regarding Measures, Strategies, and Assessment Tools. *Sustainability*, 15(24), 16632.
- Lakomaa, E. (2018). Digitalization, Collective Intelligence, and Entrepreneurship in the Care Sector. In: *Managing Digital Transformation*. (1 ed.), Stockholm School of Economics Institute for Research (SIR), p. 265.
- Li, P., Xue, R., Shao, S., Zhu, Y. & Liu, Y. (2023). Current state and predicted technological trends in global railway intelligent digital transformation. *Railway Sciences*, 2(4), 397-412.
- Öztürk, O., Kocaman, R. & Kanbach, D. K. (2024). How to design bibliometric research: an overview and a framework proposal. *Review of Managerial Science*, 18, 3333-3361.
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., ... & Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372.
- Palkina, E. (2022). Transformation of business models of logistics and transportation companies in digital economy. *Transportation Research Procedia*, 63, 2130–2137.
- Păvăloaia, V. D. & Necula, S. C. (2023). Artificial Intelligence as a Disruptive Technology - A Systematic Literature Review. *electronics*, 12, 1102.
- Potomkin, K. et al., 2021. *Reachability of Black-Box Nonlinear Systems after Koopman Operator Linearization*. s.l., science direct.
- Sarp, S., Kuzlu, M., Jovanovic, V., Polat, Z., & Guler, O. (2024). Digitalization of railway transportation through AI-powered services: digital twin trains. *European Transport Research Review*, 16(1), 58.
- Sestino, A. & De Mauro, A. (2022). Leveraging artificial intelligence in business: Implications, applications and methods. *Technology Analysis & Strategic Management*, 34(1), 16-29.
- van Eck, N. J. & Waltman, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, 84(2), 523-538.
- Zhang, J. & Zhang, J. (2023). Artificial Intelligence Applied on Traffic Planning and Management for Rail Transport: A Review and Perspective. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2023(1), 1832501.

Digitalization of Railway Processes in the Age of AI technologies, a Bibliometric Review

Abdolhadi Zarrabi

PhD Candidate, Department of IT Management, Faculty of Management and Accounting, Allameh Tabataba'i University, Tehran, Iran

Mohammad Taghi Taghavifard^{*1}

Prof., Department of Information Technology and Operations Management, Faculty of Management and Accounting, Allameh Tabataba'i University, Tehran, Iran

Iman Raeesi Vanani

Associate Prof., Department of Information Technology and Operations Management, Faculty of Management and Accounting, Allameh Tabataba'i University, Tehran, Iran

Manoochehr Najmi

Associate Prof., Department of Industrial Engineering, Faculty of Management and Economics, Sharif University of Technology, Tehran, Iran

Abstract

The digital transformation of the railway transportation industry—particularly through the integration of artificial intelligence (AI) technologies—has emerged as a key driver of innovation within critical infrastructure sectors. This study aims to map the knowledge landscape and identify prevailing trends, technologies, challenges, and key stakeholders in the application of AI within the railway domain by employing a bibliometric approach. Research data were collected from the Scopus database, and following a screening process, a total of 1,202 articles published between 2010 and 2025 were analyzed using VOSviewer software. The findings reveal that technologies such as machine learning, deep learning, genetic algorithms, and digital twins are most prominently represented in the literature, with the primary application areas including predictive maintenance, health monitoring, and intelligent scheduling. In terms of scientific output structure, China and Beijing Jiaotong University have demonstrated leading positions, while countries such as Iran, despite contributing to the scientific output, have shown weaker performance in international research collaborations. Furthermore, the gap analysis highlights that several strategic topics—such as cyber-resilience, change management, and supply chain optimization—have received comparatively limited attention. Finally, by synthesizing the bibliometric results and cluster analyses, a conceptual framework is proposed along four dimensions: technology-oriented, application-oriented, outcome-oriented, and challenge-oriented. Based on this framework, five research propositions are offered to guide future investigations in the field.

Keywords: Artificial intelligence, Railway transportation industry, Bibliometric analysis, Machine learning, Conceptual framework.